



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**Tratamiento de lodos fecales en letrina tradicional simple, con  
microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional  
(ceniza), en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2016.**

**Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO SANITARIO**

**AUTOR:**

**Bach. Roy Tantalean Pedraza**

**ASESOR:**

**Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación**

**CO-ASESOR:**

**Ing. Robinson Tantalean Pedraza**

**Código 06052716**

**Moyobamba-Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**“Tratamiento de lodos fecales en letrina tradicional simple, con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza), en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2016”.**

**Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO SANITARIO**

**AUTOR**

**Bach. Roy Tantalean Pedraza**

**Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 09 de mayo de 2018**

**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**  
**Presidente**

**Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardalez**  
**Secretario**

**Lic. M.Sc. Ronald Julca Urquiza**  
**Miembro**

**Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación**  
**Asesor**

### **Declaratoria de autenticidad.**

Yo Roy Tantalean Pedraza, con DNI N° 75722386, egresado de la Facultad de Ecología, de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada “Tratamiento de lodos fecales en letrina tradicional simple, con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza), en el Centro Poblado Perla de Indaño, 2016”.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, no ha sido plagiada, ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido presentada ni publicada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumimos las consecuencias que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 18 de Mayo de 2018



**Bach. Roy Tantalean Pedraza**

DNI: 75722386



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	Tantalean Pedrosa Roy		
Código de alumno :	115233	Teléfono:	944953689
Correo electrónico :	roy115233@gmail.com	DNI:	75722386

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título:	Tratamiento de lodos fecales en letrina tradicional simple, con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (conize) en el Centro Poblado Perle de Indaño, 2016
Año de publicación:	2018

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

05 / 09 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM – T.

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional (Andreina, Marcelo A, Artemio, Victoria, Erick, Mirtha, Robinson, Yobany, Hilmer T y Marcelino), consejos, comprensión, amor para poder llegar a estas instancias de mis estudios ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme constantemente.

*“los jóvenes caminan rápido, pero son los viejos  
los que conocen el camino” **Papa Francisco 2018.***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios como ser supremo y creador nuestro y de todo lo que nos rodea, por darme la inteligencia, paciencia, fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la fe y la dignidad.

Mi agradecimiento especial al mi hermano Robinson, por las enseñanzas que me brindó durante la realización de mi tesis.

Al sr. Hugo Santa Cruz, por las facilidades brindadas quien permitió la construcción de las letrinas en su propiedad ubicada en el C.P Perla de Indañe. Además de su apoyo durante el desarrollo de la ejecución del presente proyecto de investigación.

A todos los docentes de la FECOL – UNSM – T, a quienes considero como pilares para mi formación profesional.

Al Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación, por su valioso apoyo, orientación, comprensión y paciencia, recibida durante el desarrollo del trabajo de investigación y elaboración de la tesis.

A la Oficina de Investigación y Desarrollo de la universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, por el apoyo económico brindado y hacer posible el desarrollo de la investigación.



## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>

## CAPITULO I

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

<b>1.1. Antecedentes de la Investigación .....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Nivel de internacional.....	3
1.1.2. Nivel nacional.....	6
1.1.3. Nivel local. ....	7
<b>1.2. Base Teórica .....</b>	<b>9</b>
1.2.1. Lodos fecales.....	9
1.2.2. Tratamiento de los lodos fecales.....	12
1.2.3. Microorganismos Eficientes EM. ....	19
1.2.4. Microorganismos eficientes y su uso en el tratamiento de lodos fecales.....	24
1.2.5. Ceniza y su uso en el tratamiento de lodos fecales. ....	25
<b>1.3. Definición de términos.....</b>	<b>26</b>

## CAPITULO II

### MATERIAL Y MÉTODOS

<b>2.1. Material.....</b>	<b>28</b>
2.1.1. Material para construcción de letrinas. ....	28
2.1.2. Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. 28	
2.1.3. Material para la determinación de la remoción lodos fecales.....	28
<b>2.2. Método. ....</b>	<b>28</b>
2.2.1. Tipo y nivel de Investigación.....	28
2.2.2. Diseño de investigación. ....	28
2.2.3. Población y muestra.....	30
2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	30
2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....	32

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>3.1. Determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos. ....</b>	<b>34</b>
<b>3.2. Evaluación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. Comparación de los parámetros físico entre ambos tratamientos (E.M y ceniza).....</b>	<b>52</b>
<b>3.4. Comparación y % de eficiencia de los parámetros químicos y microbiológicos entre ambos tratamientos (E.M y ceniza) .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5. Evaluación para contrastación de hipótesis basada en el análisis de varianza (anova).....</b>	<b>63</b>
<b>3.6. Discusión de resultados.....</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores para la masa y nutrientes excretados. ....	11
<b>Tabla 2.</b> Condiciones ambientales .....	13
<b>Tabla 3.</b> Condiciones ambientales .....	15
<b>Tabla 4.</b> Comparación del Análisis del humus compostado derivado del suelo del pozo de una Fosa Alternativa y del humus del Skyloo. ....	17
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de lodos fecales a los 0 días.....	34
<b>Tabla 6.</b> Caracterización de lodos fecales a los 15 días.....	35
<b>Tabla 7.</b> Caracterización de lodos fecales a los 30 días.....	36
<b>Tabla 8.</b> Caracterización de lodos fecales a los 45 días.....	37
<b>Tabla 9.</b> Variación de la T° en letrina 01 .....	38
<b>Tabla 10.</b> Variación del pH en letrina 01 .....	38
<b>Tabla 11.</b> Variación del fósforo en letrina 01 .....	39
<b>Tabla 12.</b> Variación del nitrato en letrina 01 .....	40
<b>Tabla 13.</b> Variación de la DBO <sub>5</sub> en letrina 01 .....	41
<b>Tabla 14.</b> Variación de la DQO en letrina 01 .....	42
<b>Tabla 15.</b> Variación de coliformes termotolerantes en letrina 01 .....	43
<b>Tabla 16.</b> Variación de coliformes totales en letrina 01 .....	44
<b>Tabla 17.</b> Variación de la T° en letrina 02.....	45
<b>Tabla 18.</b> Variación del pH en letrina 02.....	46
<b>Tabla 19.</b> Variación del fósforo en letrina 02. ....	46
<b>Tabla 20.</b> Variación del nitrato en letrina 02. ....	47
<b>Tabla 21.</b> Variación de la DBO <sub>5</sub> en letrina 02. ....	48
<b>Tabla 22.</b> Variación de la DQO en letrina 02. ....	49
<b>Tabla 23.</b> Variación de coliformes termotolerantes en letrina 02.....	50
<b>Tabla 24.</b> Variación de coliformes totales en letrina 02. ....	51
<b>Tabla 25.</b> Eficiencia de remoción del día 0 al día 45.....	63
<b>Tabla 26.</b> Variación de la DBO <sub>5</sub> en función al tratamiento .....	64
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza de la DBO <sub>5</sub> de lodos fecales con aplicación de E.M y ceniza en función a los días de muestreo.....	64
<b>Tabla 28.</b> Variación de la DQO en función al tratamiento .....	65
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza de la DQO de lodos fecales con aplicación de E.M y ceniza en función a los días de muestreo.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Variación de la T° en letrina 01 .....	38
<b>Figura 2.</b> Variación del pH en letrina 01 .....	39
<b>Figura 3.</b> Variación del fosfato en letrina 01 .....	39
<b>Figura 4.</b> Variación del nitrato en letrina 01 .....	40
<b>Figura 5.</b> Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en letrina 01 .....	41
<b>Figura 6.</b> Variación de la demanda química de oxígeno en letrina 01 .....	42
<b>Figura 7.</b> Variación de coliformes termotolerantes en letrina 01 .....	43
<b>Figura 8.</b> Variación de coliformes totales en letrina 01 .....	44
<b>Figura 9.</b> Variación de la T° en letrina 02 .....	45
<b>Figura 10.</b> Variación del pH en letrina 02. ....	46
<b>Figura 11.</b> Variación del fosfato en letrina 02. ....	47
<b>Figura 12.</b> Variación del nitrato en letrina 02 .....	48
<b>Figura 13.</b> Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en letrina 02. ....	49
<b>Figura 14.</b> Variación de la demanda química de oxígeno en letrina 02. ....	50
<b>Figura 15.</b> Variación de coliformes termotolerantes en letrina 02 .....	51
<b>Figura 16.</b> Variación de coliformes totales en letrina 02 .....	52
<b>Figura 17.</b> Variación de la T° entre ambos tratamientos. ....	53
<b>Figura 18.</b> Variación del pH entre ambos tratamientos. ....	54
<b>Figura 19.</b> Variación del fosfato entre ambos tratamientos. ....	55
<b>Figura 20.</b> Eficiencia de la remoción del fosfato entre ambos tratamientos. ....	55
<b>Figura 21.</b> Variación del nitrato entre ambos tratamientos. ....	56
<b>Figura 22.</b> Eficiencia de la remoción del nitrato entre ambos tratamientos. ....	57
<b>Figura 23.</b> Variación de la DBO5 entre ambos tratamientos .....	57
<b>Figura 24.</b> Eficiencia de la remoción de la DBO5 entre ambos tratamientos. ....	58
<b>Figura 25.</b> Variación de la DQO entre ambos tratamientos. ....	59
<b>Figura 26.</b> Eficiencia de la remoción de la DQO entre ambos tratamientos. ....	59
<b>Figura 27.</b> Variación de coliformes termotolerantes entre ambos tratamientos. ....	60
<b>Figura 28.</b> Eficiencia de la remoción de coliformes termotolerantes entre ambos tratamientos. ....	61
<b>Figura 29.</b> Variación de coliformes totales entre ambos tratamientos. ....	62
<b>Figura 30.</b> Eficiencia de la remoción de coliformes totales entre ambos tratamientos. ....	62

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca mitigar efectos negativos generados por lodos fecales provenientes de letrina tradicional simple, basada en aplicar dos tratamientos, microorganismos eficientes (E.M) y ceniza. El tratamiento con aplicación de E.M se obtiene DBO<sub>5</sub> al inicio 2200 mg/L y al finalizar 55 mg/L, DQO al inicio 2748 mg/L y al finalizar 100 mg/L, fosfatos al inicio 14 mg/L y al finalizar 3 mg/L, nitratos al inicio 25 mg/L y al finalizar 2 mg/L, coliformes termotolerantes al inicio 8540 UFC/100ml y al finalizar 270 UFC/100ml, coliformes totales al inicio con 12 231 UFC/100ml y al finalizar 632 UFC/100ml, alcanzando una eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> 97,5%, DQO 96,4%, fosfatos 78,6%, nitratos de 92,0%, coliformes termotolerantes de 96,8% y coliformes totales 94,8%. En el caso de T° y pH se incrementó de 24,1 °C a 27,8 °C y el pH de 5,3 a 8,9. Con aplicación de ceniza, se obtiene DBO<sub>5</sub> al inicio 2351 mg/L y al finalizar 457 mg/L, DQO al inicio 2833 mg/L y al finalizar 521 mg/L, fosfatos 15 mg/L y al finalizar 5 mg/L, nitratos al inicio 27 mg/L y al finalizar 12 mg/L, coliformes termotolerantes al inicio 8620 UFC/100ml y al finalizar 845 UFC/100ml, coliformes totales al inicio con 12 318 UFC/100ml y al finalizar 1 018 UFC/100ml alcanzando una eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> 80,6%, DQO 81,61%, fosfatos 66,67%, nitratos de 55,6%, coliformes termotolerantes de 90,20 % y coliformes totales 91,74%. Cabe mencionar que existieron parámetros como la T° que se incrementó 24,5 °C a 26 °C y el pH de 5,3 a 7,8. Se afirma que existe una diferencia significativa entre tratamientos.

**Palabras clave:** heces, excretas, asociación bacteriana, método común.



## ABSTRACT

The following research work seeks to mitigate negative effects generated fecal sludge from simple traditional latrine, based on applying two treatments, efficient microorganisms (E.M) and ash. The treatment with application of EM is obtained BOD5 at the beginning 2200 mg / L and at the end 55 mg / L, COD at the beginning 2748 mg / L and at the end 100 mg / L, phosphates at the beginning 14 mg / L and at the end 3 mg / L, nitrates at the beginning of 25 mg / L and at the end of 2 mg / L, thermotolerant coliforms at the beginning of 8540 CFU / 100ml and at the end of 270 CFU / 100ml, total coliforms at the beginning with 12 231 CFU / 100ml and at the end of 632 CFU / 100ml, achieving a removal efficiency of BOD5 97.5%, COD 96.4%, phosphates 78.6%, nitrates of 92.0%, thermotolerant coliforms of 96.8% and total coliforms 94.8%. In the case of T ° and pH, it increased from 24.1 ° C to 27.8 ° C and the pH from 5.3 to 8.9. With application of ash, BOD5 is obtained at the beginning 2351 mg / L and at the end of 457 mg / L, COD at the beginning 2833 mg / L and at the end of 521 mg / L, phosphates 15 mg / L and at the end of 5 mg / L, nitrates at the beginning 27 mg / L and at the end of 12 mg / L, thermotolerant coliforms at baseline 8620 CFU / 100ml and at the end of 845 CFU / 100ml, total coliforms at baseline with 12 318 CFU / 100ml and at the end 1 018 CFU / 100ml reaching an efficiency of removal of BOD5 80.6%, COD 81.61%, phosphates 66.67%, nitrates of 55.6%, thermotolerant coliforms of 90.20% and total coliforms 91.74%. It is worth mentioning that there were parameters such as the T ° that increased 24.5 ° C to 26 ° C and the pH from 5.3 to 7.8. It is stated that there is a significant difference between treatments.

**Keywords:** stool, excrete, bacterial association, common method



## INTRODUCCIÓN.

El manejo de los lodos fecales en las zonas rurales, concentradas y dispersas, ha sido atendido a través de la provisión de letrinas, sin embargo, la falta de operación y mantenimiento tienden a jugar el rol más importante en su funcionalidad al establecer el tipo de tratamiento que se debe aplicar a los lodos fecales. Además el limitado conocimiento de los tipos de tratamiento que existen y cuál de estos es el más adecuado para los habitantes del centro poblado Perla de Indañe.

Frente al contexto situacional nos planteamos la siguiente interrogante ¿En qué medida se puede tratar los lodos fecales de la letrina tradicional simple aplicando microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional?

El objetivo principal de la investigación es Tratar los lodos fecales en letrina tradicional simple, con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza), en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2016; teniendo como objetivos específicos caracterizar los parámetros físico-químicos ( $T^{\circ}$ , pH, DBO, DQO, nitratos, fosfatos) y microbiológicos (coliformes totales y coliformes termotolerantes) de lodos fecales en letrina tradicional simple, comparar los parámetros del tratamiento de lodos fecales obtenidos con la aplicación de microorganismos eficientes y ceniza, finalmente determinar la remoción de los parámetros mediante la eficiencia del tratamiento de lodos fecales obtenidos con la aplicación de microorganismos eficientes y ceniza.

La variable independiente es microorganismos eficientes y ceniza con los siguientes indicadores caracterización de parámetros y eficiencia de remoción y la variable dependiente es el tratamiento de lodos fecales con sus indicadores temperatura, pH,  $DBO_5$ , DQO, nitratos, fosfatos, coliformes termotolerantes y coliformes totales.

La hipótesis nula ( $H_0$ ) planteada fue el tratamiento de lodos fecales con microorganismos eficientes no será significativo en comparación con el tratamiento convencional ceniza, en el Centro poblado Perla de Indañe, siendo la hipótesis alterna ( $H_1$ ) el tratamiento de lodos fecales con microorganismos eficientes será significativo

en comparación con el tratamiento convencional (ceniza), en el Centro poblado Perla de Indañe.

La importancia de esta investigación radica en 02 alternativas para el tratamiento de lodos fecales, de las cuales se determinó la más eficiente en función a la remoción de sus parámetros evaluados.

Las limitaciones de la investigación están condicionadas por el olor fétido, presencia de moscas y helmintos al momento de tomar las primeras muestras para enviar al laboratorio, además de las intensas lluvias en la zona de intervención ocasiono retraso en la ejecución del proyecto.

En el primer capítulo se señalan las revisiones bibliográficas necesarias para una mejor comprensión de la problemática que originan los lodos fecales en la letrina tradicional simple, tipos de tratamientos, propiedades y características de los insumos que son usados para tratar estos lodos.

En el Segundo Capítulo se ha considerado la metodología de la investigación donde se justifica la parte más importante del experimento realizado resumiéndose en caracterizaciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.

En el Tercer Capítulo se detallan la interpretación y discusión de los resultados teniendo una amplia gama de gráficos estadísticos para su mejor entendimiento, donde finalmente se señalan las conclusiones y recomendaciones necesarias del presente estudio ejecutado.

# CAPITULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 1.1. Antecedentes de la Investigación

#### 1.1.1. Nivel de internacional.

**Toc, (2012)**, En su trabajo de investigación, *“Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en las Aguas Residuales de la Granja Porcina de Zamorano, Honduras”*. Sostiene que: La adición de Microorganismos Eficientes (ME) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano redujo la cantidad de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Totales (ST) a los sesenta días después de su aplicación. Se pudo observar una reducción natural de la DBO, DQO y ST en el tratamiento control debido a la posibilidad de acción de los microorganismos eficientes benéficos y microorganismos no benéficos.

**Reyes, Yeomans, Hernández, Okumoto (2005)**. En su trabajo de investigación, *“Estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con microorganismos eficientes”*; Sostiene que: El uso de EM en este proyecto resultó ser eficiente, por lo que se concluye que es un excelente estabilizador de biosólidos crudos.

Se realizó el estudio en dos etapas. En la primera etapa, se incubaron anaeróbicamente muestras de lodo séptico con cinco concentraciones de microorganismos eficientes activados (0%, 2,5%, 5%, 7,5% y 10%, v/v), para hacer las mediciones e diferentes parámetros cada tres días por 15 días, siendo tres repeticiones. En la segunda etapa, se eligieron tres tratamientos de la etapa uno (0%, 2,5% y 5% v/v EM activado) utilizando repeticiones para hacer de diferentes parámetros cada 3 días por 15 días.

En los tratamientos con microorganismos eficientes, los coliformes fecales y totales habían sido eliminados para el día 9 de ambos experimentos. Durante el transcurso del tiempo de ambos experimentos, en los tratamientos con microorganismos eficientes, el cambio en olor, que había pasado de un olor fecal

a un olor ligero característico de alcoholes, y la reducción de pH indicaron que había ocurrido un proceso de fermentación.

En los tratamientos con EM, la reducción en la DBO5 fue significativa y menor de lo permisible, <300 mg L<sup>-1</sup>, para descargar esas aguas en el ambiente.

En base a los resultados, la concentración más baja de microorganismos eficientes y el tiempo menor para que ocurra una estabilización efectiva de los lodos sépticos, fueron el tratamiento con 2,5% de EM activado y un tiempo no mayor que 5 días.

**Fioravanti, Vega, Okumoto. (2005).** En su trabajo de investigación *“Eficiencia de los microorganismos eficientes (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola”*. Afirma que: Los olores generados por la putrefacción son uno de los principales impactos de la descarga de lodos sépticos crudos y fueron evaluados precisamente de la manera en que se detectan.

El olor presente en la semana 0 se refiere al olor fresco de los lodos; olor característico que se detecta cerca de una alcantarilla de un tanque séptico. El tratamiento de 0 % EM mantuvo ese olor “muy fuerte” desde la Semana 0. En cambio, los lodos que se trataron con 10 % EM inmediatamente entraron en un proceso de fermentación que se podía apreciar claramente en el olor. Este olor se describe como “fuerte” ya que resultaba de la intensa fermentación que se estaba dando. El olor del tratamiento 0 % EM era característico de un proceso de putrefacción y el color lo indicaba así también. El color gris oscuro observado en la muestra inicial y durante la incubación del tratamiento sin EM, sumado además a una capa de nata superficial y a una gran cantidad de larvas de moscas, son signos de que había putrefacción y consecuente mal olor en este tratamiento. Los lodos que se trataron con 10 % EM cambiaron el color y tienen un color caramelo en Semana 4, al referirse a los resultados observados en un experimento con aguas residuales y EM, explica que el color café rojizo (caramelo) corresponde a colonias de bacterias ácido lácticas y/o levaduras.



En el tratamiento sin EM, no se generó un proceso de fermentación eficaz, desde la segunda semana presentó un olor muy fuerte a putrefacción y un color negruzco característico de ella. El aumento del pH significó una amenaza en la estabilización de los lodos, debido a que favoreció, entre otras cosas, el desarrollo de ciertos microorganismos y dificultó la desnitrificación.

El E.M fue un catalizador eficaz del proceso de estabilización que se pretendía. La intensa fermentación anaeróbica generada por el tratamiento de 10 % EM inhibió los procesos de putrefacción en los lodos sépticos y, en consecuencia, eliminó la producción de olores desagradables. También este tratamiento causó una reducción en el pH e inhibió el desarrollo de microorganismos patógenos. Con el EM eliminó efectivamente más del 99 % de los coliformes totales y fecales a las dos semanas de tratamiento, y se superaron así los límites legales establecidos por la ley costarricense para el uso agrícola de lodos sépticos.

**Fioravanti, Vega y otros. (2003).** En su trabajo de investigación de *“Eficiencia de los Microorganismos Eficientes (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola”*, establece que: Los EM (Microorganismos Eficientes) funcionan como una buena herramienta para la estabilización de los lodos sépticos. La estabilización de los lodos sépticos se llevó a cabo mediante la reducción del contenido inicial de microorganismos patógenos, disminución del potencial de putrefacción y generación de olores, los cuales se evaluaron en las variables analizadas.

La reducción de la DBO5 en los lodos tratados con Microorganismos Eficientes indica la fermentación intensiva de la materia orgánica. Esta fermentación también se evidencia con el fuerte olor a alcoholes y ácidos, y el color café claro característico de las colonias de bacterias ácido-lácticas, algas y levaduras. Otro dato indicador del proceso de fermentación fue la marcada reducción del pH y la disminución acelerada de la temperatura al inicio del proceso.

Los resultados revelaron una diferencia, desde la segunda semana, entre el control y el tratamiento con EM. Los principales indicadores que favorecen al tratamiento

con microorganismos eficientes son: reducción casi total de coliformes totales y fecales, cambio de un olor fuerte y putrefacto a un olor fuerte de fermentación, reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), reducción del contenido de nitratos, reducción del pH y de temperatura, mayor reducción de grasas y aceites. Por otro lado, el Control presentó olor fuerte a putrefacción, aumento de pH y DBO5, aumento de coliformes totales, ausencia de reducción de nitratos, entre otros. Estos resultados reflejan la eficiencia de los microorganismos eficientes en la estabilización de biosólidos crudos para su uso agrícola como abono.

El tratamiento con microorganismos eficientes eliminó efectivamente más del 99% de los coliformes totales y fecales a las dos semanas de tratamiento. Con esto se superó los límites legales establecidos por la ley costarricense para el uso agrícola de lodos sépticos. Por otro lado, en la segunda semana el control presentó un incremento de los coliformes totales con respecto al inicial.

El tiempo necesario de estabilización con microorganismos eficientes fue de dos semanas.

#### **1.1.2. Nivel nacional.**

**Rivera, (2011)** en su tesis denominada *“Evaluación de microorganismos eficientes en procesos de compostaje de residuos de maleza”* concluyó:

- La calidad del compost está en función al tipo de estiércol que se utilizó, a esto se añade el proceso en condiciones de humedad adecuada y permanente tanto en el presente trabajo tanto en el método convencional y la aplicación de microorganismos eficientes (EM) se obtuvieron resultados más altos con la aplicación de EM en cuanto a características físico químico y químicas.
- Mediante la aplicación de EM se mostró ser más eficiente por tener menos tiempo de compostaje (mitad de tiempo que el método convencional) en su descomposición. Se debió a la inoculación de los EM, que aceleran la descomposición de la materia orgánica actuando como agente

catalizadora, y los volteos que se hizo para sus condiciones óptimos, y que finalizo su degradación en 7 semanas. Mientras tanto con el método convencional se determinó su tiempo de degradación en 12 semanas.

- Mediante la aplicación de EM es una mejor alternativa óptima de tratamiento de estiércol y maleza, que contribuye al control de patógenos, amortiguación de olores y al desarrollo de una práctica mejorada y un ambiente saludable; mientras tanto en el método convencional durante el proceso se han generado olores desagradables de Ácido Sulfhídrico durante el proceso.
- La rentabilidad del sistema de producción de EM compost es superior al sistema convencional. En la comparación de costos entre los dos sistemas de producción se determinó que el más económico por EM-compost por la disminución de tiempo y mano de obra que fue 750 soles.

### 1.1.3. Nivel local.

**Huayllani, (2017).** En su tesis titulado *“Influencia de microorganismos eficientes (Em-compost) en la producción de compost de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción 2016”* llegó a las siguientes conclusiones:

- El contenido de materia orgánica con EM–Compost varía 37.09% y 38.12% por la actividad microbiana que acelera la descomposición y actúa como agente catalizador en condiciones aeróbicas y anaeróbicas descomponiendo el (C), el (N), y toda la materia orgánica inicial.
- El nitrógeno total con EM–Compost varía entre 1.88% y 2.00% con una alta cantidad, debido a una posible inmovilización del nitrógeno, al ser asimilado por los microorganismos, así como a la volatilización de compuestos nitrogenados durante la fase termofílica.
- El contenido de fósforo total con EM-Compost fluctuó entre 0.140% a 0.160%, atribuible a la incompleta descomposición orgánica transformado por acción de los microorganismos aplicados.
- El potasio total con EM-Compost varió entre 0.954% y 1.253%, atribuible a la liberación de iones potasio de los compuestos orgánicos que se van

transformando en el proceso de compostaje, pues el potasio no tiene formas orgánicas.

- La relación C/N varió entre 10.554 y 11.457 con EM-Compost, la cual se dio por los procesos metabólicos complejos realizados por el EM-Compost aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa, con menos C y N, pero más estable.
- El pH se incrementó de 7.9 a 8.467 con EM-Compost, en la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro o básicos.
- La (CE) con EM-Compost producen un compost con valores entre 1.8453 dS/m y 1.9427 dS/m, esto se debe la (CE) tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes.
- El contenido de cromo y cadmio en el compost obtenido con aplicación de EM- Compost, presenta una disminución en el contenido total, el cromo de 52.49 mg/kg a 30.88 mg/kg y cadmio de 3.93 mg/kg a 2.45 mg/kg, esto por los microorganismos al descomponer la materia orgánica en humus, este compuesto orgánico realiza el proceso de adsorción del cromo y cadmio, reteniéndolos y no libera la disponibilidad de estos metales pesados por lo que en análisis de laboratorio se presenta en bajas concentraciones.

**Sánchez, (2014).** En su tesis titulado “*Evaluación de la capacidad de depuración de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Moyobamba – 2014*” llego a las siguientes conclusiones:

- Turbiedad. Los resultados obtenidos de los análisis realizados muestran que al término del tratamiento la turbiedad presenta una disminución en su concentración en 64.29% de 98 a 35.0 UNT.
- La temperatura bajò de 23,5 °C a 22,8 °C, demostrando que mejoró la calidad del agua residual tratada con EM.
- Los parámetros químicos fueron removidos eficientemente, en la mayoría de los que fueron analizados, como: el pH presento valores cercanos a la

neutralidad durante todo el tratamiento de 6,3 a 6,7; los Fosfatos disminuyeron en un 55% de 1 mg/l a 0,45 mg/l; los Nitratos fueron removidos en un 60% de 10 mg/l a 4 mg/l; para los Sólidos Suspendidos Totales el tratamiento presentó una eficiencia de 48,72%; para el oxígeno disuelto se obtuvo valores de 3 mg/l al inicio y 2,5 mg/l al término del tratamiento; la DBO fue altamente removida en un 69,4 % disminuyendo así de 320 mg/l a 98 mg/l y la DQO mostró una disminución del 40,68% de 354 mg/l a 210 mg/l.

- Los Coliformes Totales, fueron removidos en un 56,25%, disminuyendo así de 2 120 NMP/100ml a 1 000 NMP/100ml y los Coliformes Termotolerantes, disminuyeron en 52,83% de 1 200 NMP/100ml a 525 NMP/100ml.
- El olor característico de las aguas residuales desapareció completamente entre el día 20 al 30, demostrando así que los microorganismos eficientes son capaces de detener la putrefacción de la materia orgánica y descomponerla mediante la oxidación.
- En La investigación se concluye que, aplicando microorganismos eficientes, se logró obtener agua depurada, con un nivel de aceptabilidad 72.7% según el ECA categoría 3, a excepción del Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno.

## **1.2. Base Teórica**

### **1.2.1. Lodos fecales.**

Los lodos fecales (LF) provienen de varios tipos de inodoros descentralizados que no están conectados a un alcantarillado. Pueden estar digeridos parcialmente o no, muy líquidos o semisólidos y resultan de la contención o tratamiento de combinaciones de excremento humano y aguas negras, con o sin aguas grises. Son muy variables en su consistencia, cantidad y concentración. Algunos ejemplos de estructuras descentralizadas que producen LF incluyen letrinas de pozo, baños públicos, tanques sépticos, letrinas llenadas de agua e inodoros secos. (Jönsson, 1997).



#### ***1.2.1.1. Caracterización de los lodos fecales.***

*Orina.* La mayor parte de los nutrientes de la excreta humana se encuentran en la orina. Un adulto puede producir cerca de 400 litros de orina al año, que a su vez contienen 4 Kg de nitrógeno, 400g de fósforo y 900g de potasio. (**Jönsson, 1997**).

Es muy interesante que estos nutrientes, además, se encuentran en la forma ideal para ser aprovechados por las plantas: el nitrógeno en forma de urea, el fósforo como superfosfato y el potasio como ion. La proporción de estos nutrientes en la orina es más apropiada, si se compara con la cantidad y la proporción de nutrientes de los fertilizantes industrializados que se usan en la agricultura. “En Suecia, la producción anual de orina humana contuvo nitrógeno, fósforo y potasio en cantidades equivalentes a 15-20% de los mismos nutrientes contenidos en los fertilizantes minerales”. (**Jönsson, A. Olsson, T.A. Stentörm y G. Dalhammar, 1996, p. 96**). Las concentraciones de metales pesados en la orina humana son mucho más bajas que las encontradas en la mayoría de los fertilizantes industriales. Una ventaja considerable. (**Olsson, 1995, p. 208**).

*Heces.* En general, las heces humanas se componen de materia orgánica no digerida, como las fibras de carbón. La cantidad total excretada por un humano en un año es de 25 a 50 Kg que a su vez contienen 550g de nitrógeno, 180g de fósforo y 370g de potasio. (**Jönsson, 1997, p. 9**). Si bien las heces contienen menos nutrientes que la orina, son un acondicionador valioso de suelos. Después de la destrucción de patógenos por deshidratación y/o descomposición, el material inofensivo que resulta puede aplicarse al suelo para incrementar la cantidad de material orgánico, mejorando así su capacidad para la retención de líquidos e incrementar la accesibilidad de los nutrientes. El humus que resulta del proceso de descomposición también contribuye a mantener una población adecuada de organismos del suelo, que proteja efectivamente a las plantas de enfermedades que tienen su origen en el suelo. (**Esrey, et al., 1998, p. 16**).

#### ***1.2.1.2. Contenido de macronutrientes en la excreta.***

Existen pocas mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana y por ende es necesario contar con un método para calcular la

composición de la excreta a partir de una información que sea fácil de obtener. Un método, que usa las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ([www.fao.org](http://www.fao.org)) sobre el suministro de alimentos disponible en varios países, ha sido desarrollado por (Jönsson y Vinnerås 2004).

**Tabla 1.**

*Valores para la masa y nutrientes excretados.*

Parámetro	unidad	orina	heces	papel higiénico	aguas negras (orina + heces)
Masa	Kg/persona.año	550	51		610
húmeda	Kg/	21	11	8,9	40,5
Masa seca	persona.año	4000	550	8,5	4550
Nitrógeno	g/ persona.año	365	183		548
Fósforo	g/ persona.año				

*Nota: Nuevos valores propuestos para la masa y nutrientes excretados en Suecia (Vinnerås, 2002).*

#### **1.2.1.3. Tipos de tecnología.**

Las prácticas de saneamiento que actualmente se promueven son de dos tipos: “flujo y descarga” y “caída y depósito”. En los últimos cien años se ha considerado al flujo y descarga como la tecnología ideal, especialmente para las áreas urbanas. Muchos municipios en los países en desarrollo en muchos casos con ayuda financiera internacional, han tratado de adquirir este modelo. Para aquellos que no pueden acceder al sistema de flujo y descarga, la alternativa usual es el sistema de caída y depósito que, generalmente, consiste de una letrina convencional donde se deposita excreta humana por tiempo indeterminado. Generalmente, a este sistema se le considera como una solución temporal inferior, comparada con el sistema de flujo y descarga. La tecnología de flujo y descarga se puede operar aceptablemente y alcanzar un nivel razonable de destrucción de agentes patógenos (en adelante simplemente patógenos), sin embargo, en el Tercer Mundo, las aguas negras se descargan a gran escala directamente al ambiente, sin tratamiento alguno. (Esrey, *et al.*, 1998).

*Caída y depósito.* Este sistema requiere de acceso al suelo, un espacio abierto de tamaño razonable, suelo que pueda ser cavado, un nivel profundo de los mantos acuíferos y de un sitio que nunca sufrirá inundaciones. No requiere de agua para crear flujos, la tecnología es simple y cualquier material (papel, objetos sólidos o agua) puede ser usado para la limpieza anal. Las desventajas son: contaminación de aguas y mantos acuíferos, malos olores, proliferación de moscas, saturación del depósito, desestabilización de cimientos cercanos y el riesgo de inundación en temporales intensos. Aunque una letrina sencilla puede ser construida a muy bajo costo, una versión mejorada, como la letrina ventilada mejorada, es cara. Además, se ha comprobado que los nutrientes y los patógenos que se filtran de los inodoros, letrinas convencionales y fosas sépticas, causan la contaminación de los mantos freáticos y aguas superficiales cercanas, en todo el mundo. (Esrey, *et al.*, 1998).

### **1.2.2. Tratamiento de los lodos fecales.**

Un buen número de patógenos y parásitos son excretados en las heces (algunos miles e incluso millones cada vez). Sin embargo, después de que son excretados al ambiente, casi todos, eventualmente, mueren o se hacen inofensivos. Pero algunos de estos organismos se conservan vivos por más tiempo y son capaces de causar una enfermedad. (Esrey, *et al.*, 1998).

Ciertas características ambientales pueden acelerar o retrasar el proceso de muerte de los patógenos, dependiendo del nivel o grado de la condición. Las condiciones consideradas como determinantes en la tasa de mortandad son: temperatura, humedad, nutrientes, otros organismos, luz solar y pH. Cada condición varía de modo natural (por ejemplo, tiempo de secas y temporal) o de modo artificial (por ejemplo, la adición de limo). Esto significa que se puede incrementar o reducir el tiempo que le toma a un patógeno morir, a partir de su tasa promedio de mortandad. En condiciones naturales, a mayor número de patógenos, la tasa de mortandad se incrementa (Esrey, *et al.*, 1998).

**Tabla 2.***Condiciones ambientales*

Factores Ambientales	Cómo
Temperatura	Incremento de temperatura
Humedad	Decremento de humedad
Nutrientes	Decremento de nutrientes Incremento
Luz solar	de luz solar Incremento en pH

*Nota:* Esrey, et al.,(1998). *Saneamiento ecológico*.

Cada una de las condiciones ambientales mencionadas en la tabla N° 02 tiene promedios que favorecen la sobrevivencia de los patógenos. En la medida que los humanos cambiamos estas condiciones (o la naturaleza), las tasas de mortandad se ven alteradas de modo correspondiente. Por ejemplo, si la temperatura se incrementa, los patógenos morirán más rápido. En efecto, 99% de coliformes fecales (bacterias usuales en heces) morirán, aproximadamente en dos semanas, en el verano (época de calor) y en tres semanas durante el invierno (época de frío) (**Salazar 2004**).

**Orina.** El almacenamiento de la orina por separado es un método de tratamiento secundario sencillo y económico. En el tanque de almacenamiento ocurren los mismos procesos que en el tanque de recolección. Mientras el tanque tenga una presión equilibrada y no sea ventilado, no se producirán pérdidas de nutrientes ni cambios en su disponibilidad. El contenido de P de los sedimentos inferiores es alto y puede ser usado para plantas cuya demanda de P es elevada, caso contrario este deberá ser mezclado con el resto del contenido del tanque antes de la aplicación, para proveer una dosis uniforme (**Jönsson et al, 2000; Udert et al, 2003**).

La orina es entubada del inodoro desviador de orina al contenedor de recolección. Debido a la acumulación de ureasa, se forman sedimentos donde la orina ha permanecido inmóvil por un tiempo, por ejemplo, en el sifón del inodoro, en las tuberías que están prácticamente horizontales y en el tanque. Este sedimento consiste de estruvita ( $MgNH_3PO_4$ ) y apatita ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ). Es formado

porque el pH de la orina aumenta a 9-9,3 debido a la degradación de la urea a amonio y a este pH alto las concentraciones iniciales de fosfato, magnesio, calcio y amonio ya no son solubles, sino que se precipitan. Del P de la orina, el 30% o más se transforma eventualmente en sedimentos (**Jönsson et al., 2000; Udert et al, 2003**).

En el proceso de secado, todos los nutrientes excepto el N y la mayoría de la materia orgánica son conservados. Algún N se pierde como amoníaco y algo de materia orgánica fácilmente degradable también se degrada y se pierde como dióxido de carbono y agua. Sin embargo, si el secado es rápido las pérdidas son pequeñas ya que la degradación biológica adicional se reduce y cesa cuando el nivel de humedad decrece a niveles bajos. En este caso, solamente una parte de la materia orgánica soluble en agua y del N, inicialmente alrededor del 50% del N total (**Trémolières et al., 1961, p. 281**), corren el riesgo de perderse. Si el secado es lento, ocurrirá una mayor degradación biológica y por consiguiente habrá mayores pérdidas de materia orgánica y N (**Jönsson et al., 2004-2, p. 13**)

**Heces:** El N y S son nutrientes que podrían perderse durante el tratamiento secundario. Los factores que influyen su destino son la cantidad de aireación y degradación que ocurre en el tratamiento. (**Jönsson et al., 2004-2, p. 14**)

#### **1.2.2.1. Heces – compostaje.**

**Compostaje termofílico:** El compostaje termofílico, así como la incineración, es un proceso aeróbico que depende del calor de la materia orgánica en descomposición para alcanzar la temperatura deseada, > 50°C, durante un número de días que asegure una reducción segura de patógenos (**Vinnerås et al., 2003, p.47 a; Schönning y Stenström, 2004, p. 54**). Una alta tasa de descomposición es necesaria si la composta debe llegar a esta temperatura elevada. La descomposición requiere de mucho oxígeno y el peso total de aire necesario para el proceso de compostaje es usualmente varias veces el del sustrato (**Haug, 1993, p. 121**). En un compostaje exitoso, el pH del sustrato aumenta a 8-9, incluso si el pH inicial es bajo (**Eklind y Kirchmann, 2000; Beck-Friis et al., 2001, 2003, p. 125-133**). El incremento de pH se debe en gran parte al N orgánico (proteína) que se degrada y forma amoníaco (**Jönsson et al., 2004-2, p. 14**).

Una temperatura cercana a los 60°C tendrá como consecuencia la muerte casi instantánea de todos los patógenos excretados con las heces. Una temperatura que se mantenga en un rango de 50-60°C, tendrá como consecuencia el no crecimiento de las bacterias y la muerte, en minutos (30 minutos o menos) de casi todos los patógenos. Estas temperaturas pueden alcanzarse usando métodos diversos, como el compostaje de alta temperatura. Al cambiar más de un factor a la vez, la tasa de mortandad se incrementa. Por ejemplo, el decremento de la humedad y el incremento de la temperatura pueden trabajar juntos para producir una muerte más rápida de patógenos, que si sólo se altera uno de estos factores (Salazar 2004).

Las bacterias, los virus y los protozoarios tardan en morir varios meses, a veces menos. Los huevecillos de las lombrices sobreviven varios meses y los de la especie *Ascaris* pueden permanecer vivos por años. De todos los métodos usados para la destrucción de patógenos, el compostaje de alta temperatura es el mejor modo de destruir rápidamente la mayor parte de patógenos. En realidad, es muy difícil alcanzar las condiciones óptimas en tanto que algunas partes del montón de composta no alcanzan la temperatura adecuada. Esto quiere decir que algunos patógenos pueden sobrevivir. Los estanques estabilizadores de desperdicio son muy efectivos para destruir protozoarios y lombrices, pero las bacterias y virus pueden permanecer vivos y estar presentes en el producto final. (Salazar 2004).

**Tabla 3.**

*Condiciones ambientales*

Condición	Bacteria	Virus	Protozoarios*	Helmintos**
Tierra	400	175	10	varios meses
cultivos	50	60	no se sabe	no se sabe

*Nota: Nuevos valores propuestos para la masa y nutrientes excretados en Suecia (Vinnerås, 2002).*

Si la orina de la letrina y las heces son compostadas conjuntamente en lugar de únicamente las heces, entonces la entrada de N en la composta aumenta de 3-8 veces y la mayoría del N de la orina se pierde, ya que está básicamente en forma de amoníaco, que escapa fácilmente del compostaje aerobio (Jönsson et al.,

**2004-2, p. 14).** La fracción principal (entre 90-95%) del N en la composta final es N orgánico (**Sonesson, 1996; Eklind y Kirchmann, 2000**). Este N orgánico se vuelve disponible para las plantas solamente si es degradado adicionalmente en el suelo. El N remanente, 5-10% del total, es amonio y nitrato, que están disponibles directamente para las plantas.

La disponibilidad de K, S y P en el material compostado es alta. Si existen fugas de lixiviados durante o después del proceso, debido a la lluvia o a un sustrato húmedo, entonces la mayoría de las fracciones disponibles de estos nutrientes se perderán. Por lo tanto, es importante que el compostaje sea manejado de tal manera que no se permita el escape de lixiviados.

Un sustrato basado completamente en heces no es normalmente suficiente para alcanzar temperaturas termofílicas, especialmente si las heces han sido mezcladas con ceniza o cal. Es necesario añadir sustratos fácilmente degradables, generalmente en cantidades muchas veces mayores a la cantidad de heces. Este sustrato suplementario puede consistir, por ejemplo, de residuos de los mercados de alimentos, desperdicios industriales de fácil descomposición o residuos de la cocina separados en la fuente. Estas adiciones afectan las concentraciones de nutrientes en la composta. A más de esto, se requiere una operación y mantenimiento excelentes para alcanzar la operación termofílica (**Jönsson, et al., 2004-2**).

*Compostaje a bajas temperaturas:* El compostaje mesofílico y la descomposición aerobia a temperaturas ambientales, aquí llamados colectivamente como compostaje a bajas temperaturas, son mejor caracterizados como variantes a baja temperatura del compostaje termofílico y estos procesos son de igual manera aeróbicos. Los productos de estos procesos son, cuando maduros, igual de degradados que los del compostaje termofílico y los productos finales de la descomposición aerobia a estas temperaturas, dióxido de carbono y agua son también iguales. El pH final y las pérdidas de N total son también similares, 10-50%, a las del compostaje termofílico (**Eklind y Kirchmann, 2000**), como es probablemente la disponibilidad del producto final para las plantas. Las dos diferencias principales entre los dos tipos de procesos

de compostaje son: primero que la higienización alcanzada mediante altas temperaturas en el compostaje termofílico no se da en el compostaje a bajas temperaturas, y segundo que la necesidad adicional de sustrato fácilmente degradable, así como de entradas extensivas de operación y mantenimiento es menor (Jönsson, *et al.*, 2004-2).

Análisis del humus extraído de los pozos superficiales donde se añadió suelo a la combinación de las heces y orina y se permitió compostar, muestra un material rico en todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, en comparación con la capa vegetal normal (Jönsson, *et al.*, 2004-2).

**Tabla 4.**

*Comparación del Análisis del humus compostado derivado del suelo del pozo de una Fosa Alternativa y del humus del Skyloo.*

Procedencia del suelo.	pH	min-N ppm mg/Kg	Mg Ppm mg/Kg	K ppm mg/Kg	Ca ppm mg/Kg	Mg ppm mg/Kg
Capa vegetal local						
(promedio de 9 muestras)	5,5	38	44	195	3200	870
Skyloo humus						
(promedio de 8 muestras)	6,7	232	297	1200	12800	2900
Suelo del pozo de						
<i>Fosa alterna</i>						
(promedio de 10 muestras)	6,8	275	292	1750	4800	1200

*Nota:* (Jönsson, *et al.*, 2004-2). Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos.

La Fosa Alternativa es un sistema de inodoro de doble fosa en el cual tierra, cenizas, hojas y excreta (orina más heces) son depositados en uno de las dos fosas poco profundas (generalmente alrededor de 1,2 m de profundidad). El uso de las fosas se alterna en intervalos de 12 meses, opera únicamente una fosa a la vez,



mientras que la segunda fosa está en proceso de compostaje. Se requiere más o menos un año o más para que una familia llene una fosa con la mezcla de los ingredientes antes mencionados. Es así, que este sistema permite una operación continua cíclica, con la excavación de humus cada año y el uso alterno de las fosas cada año. El Skyloo es un inodoro desviador de orina de una sola cámara donde la orina es conducida hacia fuera y recolectada para su uso posterior como fertilizante para las plantas y las heces caen dentro de un contenedor, como un balde, en la cámara poco profunda. Se añade luego de cada defecación tierra y cenizas vegetales a las heces. Cuando el balde está casi lleno, su contenido es movido a un sitio de compostaje secundario donde se añade más tierra y la mezcla se mantiene húmeda. Este proceso da como resultado una composta valiosa dentro de un tiempo (Jönsson, *et al.*, 2004-2).

*Heces – almacenamiento:* Otra alternativa de tratamiento secundario es el almacenamiento en un estado seco al ambiente o a una temperatura mayor. La reducción de patógenos aumenta con el incremento de la temperatura ambiental (Moe e Izurieta, 2004, p. 295-302). Si el nivel de humedad se mantiene bajo, >20% durante todo el almacenamiento, entonces la degradación es baja y las pérdidas de N y materia orgánica también. Estas sustancias son conservadas y después de la incorporación en el suelo y el humedecimiento, ellas son degradadas de la misma manera que el material en un compostaje mesofílico. Adicionalmente, puesto que la degradación tiene lugar en pequeños volúmenes en suelo húmedo con una planta sembrada, el riesgo de pérdida de amoníaco o pérdidas por lixiviados es virtualmente nulo (Jönsson, *et al.*, 2004-2, p. 16).

*Heces – digestión:* La digestión anaerobia a temperaturas termofílicas, mesofílicas o ambientales es otra opción para el tratamiento secundario de las heces. Los digestores son cerrados y todas las sustancias que entran salen de ellos, ya sea con el biogas y/o con los residuos de digestión. En la digestión, una gran parte de materia orgánica se degrada a biogas (metano y dióxido de carbono). Una gran cantidad de S orgánico es mineralizada de las proteínas y algo de ello deja el proceso como ácido sulfhídrico contaminando el biogas. Una gran porción del N orgánico es mineralizada de las proteínas y así el N de los residuos consiste en gran parte (50-70%) de amonio (Berg, 2000, p. 249), el

remanente es N orgánico. El amonio está disponible directamente para las plantas y la disponibilidad de los otros nutrientes para las plantas es también buena. Los residuos de la digestión deben ser manipulados cuidadosamente para no perder el amonio como gas amoníaco. (Jönsson, *et al.*, 2004-2, p. 17).

*Los métodos secos para procesar heces y destruir patógenos son más efectivos que los métodos húmedos (flujo y descarga). La combinación de baja humedad, bajo nivel de nutrientes/materia orgánica y un pH elevado es propicia para una destrucción rápida. El método más efectivo para la destrucción de patógenos es, al parecer, la deshidratación. Esrey, (1998).*

**Según (Salazar 2004).** En teoría, es fácil la destrucción de patógenos, pero en realidad requiere de una atención esmerada a lo largo de etapas diversas. Nosotros recomendamos un proceso de cuatro etapas para convertir la excreta en un material seguro, tanto para su manejo como su reciclaje:

- Mantener bajo el volumen de material peligroso, al desviar la orina, sin agregar agua.
- Prever la dispersión de material que contenga patógenos, al almacenarlo adecuadamente, hasta que su manejo sea seguro.
- Reducir el volumen y el peso del material infeccioso, usando sistemas de deshidratación y/o descomposición para facilitar el almacenaje, el transporte y el tratamiento subsecuente.
- Sanear y eliminar las posibilidades infecciosas de los patógenos, esta etapa requiere de tres tratamientos: primero en el lugar donde se originan (deshidratación/descomposición, almacenaje); segundo, fuera del lugar donde se generan (posterior deshidratación, composta de alta temperatura, cambio del pH agregando limo) y, de ser necesario, un tercer tratamiento a través de la incineración.

### **1.2.3. Microorganismos Eficientes EM.**

EM significa “microorganismos eficientes” y está compuesto por organismos benéficos y altamente eficientes. Estos microorganismos no son nocivos, ni patógenos, ni genéticamente modificados, ni químicamente sintetizados (Higa, 1993).

#### **1.2.3.1. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*)**

Dentro de los microorganismos que conforman el multicultivo EM los más abundantes son las bacterias ácido lácticas (BAL). Son un grupo de microorganismos representadas por varios géneros con características morfológicas, fisiológicas y metabólicas en común. En general las BAL son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, no móviles, anaeróbicos, microaerofílicos o aerotolerantes; oxidasa, catalasa y benzidina negativas, carecen de citocromos, no reducen el nitrato a nitrito y producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos (**Carr y col., 2002; Vázquez y col., 2009**)

Estos microorganismos producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos generados por bacterias fotosintéticas y levaduras, como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a los microorganismos patógenos, mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica, incluso en el caso de compuestos recalcitrantes como la lignina o la celulosa, ayudando a evitar los efectos negativos de la materia orgánica que no puede ser descompuesta (**Cardona y García, 2008**).

No se tiene gran información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácido lácticas en el tratamiento de las excretas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH y aumentar la temperatura se genera una inhibición de patógenos.

Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos. El comportamiento antagónico frente a patógenos del ácido láctico se debe a la producción de péptidos antimicrobianos y compuestos de bajo peso molecular, como la bacteriosina clase I, y la nisina, péptido de 34 carbonos que es activo frente a la mayoría de las bacterias Gram positivas (**Higa, 1993**).

#### **1.2.3.2. Levaduras (*Saccharomyces spp*)**

Dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM son las levaduras.

Todos los miembros de *Saccharomyces* emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar, se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, ya que *Saccharomyces* no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono.

El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. Ni el nitrato ni el nitrito pueden ser asimilados (**Cardona y García, 2008**).

Aparte de carbono y el nitrógeno los macroelementos indispensables son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el  $Mg^{+2}$  como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Finalmente son también necesarios el  $Ca^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $Zn^{+2}$  como elementos menores.

Un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, piridoxina y niacina. Existen sin embargo, algunas diferencias entre las distintas cepas. Entre las vitaminas mencionadas la biotina es requerida por casi la totalidad de las mismas (**Cardona y García, 2008**).

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobianas a partir azúcares, y aminoácidos secretados por las bacterias fotosintéticas, también producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que son sustancias empleadas por las bacterias ácido lácticas presentes en el EM (**Vivanco, 2003**).

Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, que es también reconocida como sustancia antimicrobiana.

Se asume por lo tanto que, al degradar los carbohidratos presentes en AR, se producirá etanol, el cual puede funcionar como sustancia antagónica frente a microorganismos patógenos (**Cardona y García, 2008**).

Los requerimientos anteriormente mencionados cambian según las condiciones de cultivo, ya que el aumento de la aerobiosis disminuye los requerimientos de

esa vitamina y el uso de urea como fuente de nitrógeno los aumenta por la necesidad de biosíntesis de 3 sistemas enzimáticos que contienen biotina. En el caso de la tiamina, se ha demostrado que aumenta la actividad fermentativa de la levadura (**Cardona y García, 2008**).

Teniendo en cuenta que, durante el presente estudio, las condiciones fueron anaeróbicas, los requerimientos de estas vitaminas y sus efectos sobre las poblaciones pudieron variar, a pesar de que las ARD, se caracterizan por ser una muy buena fuente de compuestos vitamínicos (**Cardona y García, 2008**).

Finalmente debe mencionarse al O<sub>2</sub> como otro requerimiento para la producción de levadura, puesto que se necesita 1 g de O<sub>2</sub> para la producción de 1 g de levadura seca en el caso de crecimiento en condiciones óptimas. Si existe limitación de O<sub>2</sub> no se puede alcanzar los rendimientos óptimos, lo cual genera que los valores normales de la velocidad específica de crecimiento para levaduras, que se encuentran en el orden de 0,45 a 0,6 h<sup>-1</sup> como máximo sean mucho menores. Es así como *S. cereviceae*, puede encontrar condiciones óptimas en un rango relativamente amplio de condiciones de oxígeno puesto que a pesar de requerir este factor para su crecimiento, sus exigencias no son altas y con bajas concentraciones, puede realizar normalmente su metabolismo fermentativo, aunque es probable que lo haga en una forma un poco menos eficiente (**Cardona y García, 2008**).

Para las poblaciones de levaduras, la temperatura óptima se ha establecido en 28.5 °C, dado que a mayores temperaturas disminuye el rendimiento, probablemente debido al aumento de energía de mantenimiento (**Higa, 1993**).

El rendimiento celular puede también afectarse por la presencia de inhibidores como SO<sub>2</sub> ácido aconítico y metales pesados o restos de herbicidas o bactericidas que pueden estar presentes en las melazas (**Higa, 1993**).

#### **1.2.3.3. Bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris*)**

Dentro de gremio de organismos fotosintéticos que hacen parte de EM se encuentra *Rhodopseudomonas palustris*. Estas son bacterias fototróficas facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpura no del azufre, el cual

comprende un grupo variado, tanto en morfología, filogenia y su tolerancia a diferentes concentraciones de azufre. Son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas y azúcares empleados por otros microorganismos, heterótrofos en general, como sustratos para incrementar sus poblaciones (**Vivanco, 2003**).

La ***Rhodopseudomona palustris*** es encontrada comúnmente en suelo y aguas y posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos constituyentes y por lo tanto está implicado en el manejo y reciclaje de compuestos carbonados. No sólo puede convertir CO<sub>2</sub> en material celular, sino también N<sub>2</sub> en amonio y producir H<sub>2</sub> gaseoso. Crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. En ausencia de oxígeno, prefiere obtener toda su energía de la luz por medio de la fotosíntesis, crece y aumenta su biomasa absorbiendo CO<sub>2</sub>, pero también puede crecer degradando compuestos carbonados tóxicos y no tóxicos cuyo el oxígeno está presente llevando a cabo respiración (**Cardona y García, 2008**).

Este microorganismo presenta un crecimiento fototautotrófico con H<sub>2</sub>, sulfuro y tiosulfato como donadores de electrones en presencia de pequeñas cantidades de extracto de levadura. Su crecimiento fotoheterótrofico es posible con varios sustratos orgánicos como azúcares simples y complejos. El sulfato puede ser usado como la única fuente de azufre, mientras que el amonio, dinitrogeno, algunos aminoácidos, y en algunas cepas el nitrato, pueden ser usados como fuente de nitrógeno (**Cardona y García, 2008**).

En ocasiones no se hace uso de ***Rhodopseudomonas*** porque no se conoce detalladamente su metabolismo. Sin embargo, estas bacterias se han utilizado tanto en cultivos puros como mixtos para evaluar su actividad metabólica (**Cardona y García, 2008**).

Debido a la gran variedad de rutas metabólicas que puede llegar a tomar este microorganismo según sus necesidades y condiciones ambientales, como parte del mismo produce una serie de enzimas y coenzimas según sea el caso,

dentro de las que se encuentran amilasas, hidrolasas y proteasas, así como ubiquinonas y la coenzima Q10, las cuales participan directamente en los procesos de remoción de sulfuro de hidrógeno, nitratos, sulfatos, sulfitos, hidrocarburos, halógenos y nitratos reduciendo de esta forma la demanda biológica de oxígeno (**Higa, 1993**).

Teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento para la bacteria *fototrófica R. palustris*, así como los estudios reportados, en donde se optimiza el crecimiento de estos microorganismos bajo condiciones de anaerobiosis para el tratamiento de AR, se considera que las poblaciones de estos microorganismos pueden llegar a adaptarse de forma exitosa a las condiciones que presentan las ARD (**Higa, 1993**).

#### **1.2.4. Microorganismos eficientes y su uso en el tratamiento de lodos fecales.**

EM es una tecnología desarrollada por el Doctor Teruo Higa en la década de los ochenta en Okinagua, Japón y ha sido empleada en diferentes campos como la agricultura, industria animal, remediación ambiental, entre otros y se encuentra en la actualidad ampliamente distribuida (**Cardona y García, 2008**).

EM es un cultivo mixto de microorganismos no modificados genéticamente, con diversos tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos presentan relaciones sinérgicas, de cooperación y cometabolismo. Estudios de las interacciones entre los diferentes integrantes de las comunidades microbianas han demostrado en varias ocasiones una mayor eficiencia de estos consorcios en los procesos de degradación, frente a estudios que involucran sólo a un gremio (Atlas y Bartha, 1998). El Dr. Higa encontró que se creaba un efecto potencializador al mezclar microorganismos con diversas características metabólicas (**Vivanco, 2003**).

Los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos (H<sub>2</sub>S) en sustancias no tóxicas (SO<sub>4</sub>) (García, 2006), propiedades desionizantes que favorecen la detoxificación de sustancias peligrosas, quelación de metales pesados, producción de enzimas como la lignina peroxidasa, entre otras (**Higa, 1993**).

La base fundamental del EM esta cimentado en dos tipos de microorganismos, los cimógenos y los sintetizantes. La materia orgánica se reduce a un estado soluble por la descomposición citogénica y las bacterias sintetizantes lo consumen rápidamente produciendo antioxidantes. Estos microorganismos en reposo se produce la autólisis que trae consigo que las bacterias desaparezcan (Higa, T, 1993). Los microorganismos presentes en el EM se autodestruyen y se consumen entre sí (**Fioravanti, 2003**).

Estudios realizados por (**Cardona y García, 2008**) emplearon EM para el tratamiento de ARD utilizo el sistema de lodos activados. Los resultados mostraron que el consumo de oxígeno en el sistema de tratamiento disminuyó al igual que la producción de lodos, la DQO y los malos olores, realizaron un estudio para determinar el efecto de EM en la estabilización de lodos sépticos, mostrando disminución de olor, pH y coliformes. De igual forma, evaluaron la efectividad del uso de EM, para reducir olores y disminuir la cantidad de lodos generados en los tratamientos de AR, se evaluaron alcalinidad, pH, conductividad, ST, SS y SD, presentando significativas mejoras en estos parámetros.

#### **1.2.5. Ceniza y su uso en el tratamiento de lodos fecales.**

El tratamiento más común de las heces es la recolección en una cámara ventilada, a menudo con algún aditivo, como cenizas vegetales, cal o tierra seca. El aditivo debe ser seco y es normalmente mucho más seco que las heces, que al momento de la excreción tienen un contenido de materia seca similar al 20% mientras que el contenido de materia seca de la tierra seca y cenizas es generalmente entre un 85-100%. Es así, que el contenido de materia seca de la mezcla es mucho más alto que el de las heces, aunque no ocurra un secado por aireación. Este aumento del contenido de materia seca reduce el riesgo de olores y moscas. Reduce algunos patógenos, y el efecto es reforzado si el aditivo tiene un pH alto, como el de la cal o el de las cenizas vegetales. El riesgo de moscas es reducido más eficientemente si el aditivo se aplica de tal manera que la superficie fresca de las heces no quede nunca expuesta, es decir si el aditivo es añadido después de cada defecación de modo que cubra completamente la superficie de las heces frescas (**Jönsson, et al., 2004-2**).



Los aditivos proporcionan diferentes nutrientes. La ceniza vegetal es rica en K, P y calcio y la tierra también contiene estos nutrientes. Estos nutrientes, obviamente, contribuyen a incrementar la cantidad total de nutrientes en la mezcla fecal. Si se añade ceniza o tierra después de cada uso del inodoro, entonces las heces se secarán rápidamente, ya que la humedad es transportada y compartida con el material secante. El pH alto de la ceniza y la cal junto a una rápida reducción del nivel de humedad de las heces significa que la degradación biológica es pequeña si se ha usado suficiente aditivo. Así, las pérdidas de materia orgánica y N de la mezcla fecal son pequeñas. (Jönsson, *et al.*, 2004-2).

Debido a que el uso de cal puede no ser económico a nivel macro, hay autores que proponen mezclarla con subproductos industriales como la ceniza, con bajos niveles de metales y que no disminuyan el proceso de reducción de patógenos (Boost y Poon, 1998, p. 783). La ceniza es un material mineral generado en calderas, cuya proporción y composición química depende principalmente de la procedencia del carbón (Muñoz *et al.*, 2006, p. 8); su efecto alcalinizante depende de la cantidad de ceniza usada, de su origen y de los compuestos disponibles para la generación de iones de hidróxido (Vinneras *et al.*, 2003, p. 47), siendo los compuestos más importantes los óxidos de calcio y de magnesio (Andreoli *et al.*, 2001, p. 87).

### 1.3. Definición de términos.

**Lodos fecales:** Proviene de varios tipos de inodoros descentralizados que no están conectados a un alcantarillado. Pueden estar digeridos parcialmente o no, muy líquidos o semisólidos y resultan de la contención o tratamiento de combinaciones de excremento humano y aguas negras, con o sin aguas grises. Bassan *et al.* (2014).

**Aerobio:** Se denomina aerobios a los organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o a los procesos que lo necesitan para poder desarrollarse, (Metcalf y Eddy, 2003).

**Anaerobio:** Se llama anaerobios a los organismos que no necesitan oxígeno para desarrollarse, a diferencia de los organismos aerobios, (Metcalf y Eddy, 2003).

Efluente: Un líquido que fluye hacia fuera del depósito confinado que lo contiene. Aguas negras, agua o cualquier otro líquido, parcial o totalmente tratado, o en su estado natural, **(Romero, 2001)**.

Bioacumulación: Hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticos (suelo, aire y agua) **(Fioravanti, 2003)**.

Nata: Material sólido flotante donde se acumulan sólidos suspendidos, restos de algas, material plástico y otros, originando que no se realice una buena oxigenación del agua y que la luz no pueda llegar hasta las capas más profundas. **(Marín, 2005)**.

Microorganismos Eficientes: Es un cultivo mixto de microorganismos no modificados genéticamente, con diversos tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos presentan relaciones sinergistas, de cooperación y cometabolismo **(Higa, 1993)**.

Letrina tradicional simple: Se compone de una losa colocada sobre un hueco o pozo cuya profundidad puede ser de 2 metros o más. La losa debe estar firmemente apoyada por todos los lados y elevada por encima del terreno circundante, de manera que las aguas supeinciales no puedan penetrar en el pozo. **(OMS, 1994)**.

## **CAPITULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS.**

#### **2.1. Material**

##### **2.1.1. Material para construcción de letrinas.**

- ✓ Madera
- ✓ Calamina
- ✓ Ule
- ✓ Balde de 20 L
- ✓ Microorganismos eficientes

##### **2.1.2. Material para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.**

- ✓ Termómetro de mercurio.
- ✓ Peachimetro.
- ✓ Semillas y nutrientes para determinar DQO5.
- ✓ Tiosulfato para determinar DQO
- ✓ Reactivos de fosfato y nitratos.

##### **2.1.3. Material para la determinación de la remoción lodos fecales.**

- ✓ Tabla y formula para eficiencia de remoción (elemento abstracto)

#### **2.2. Método.**

##### **2.2.1. Tipo y nivel de Investigación.**

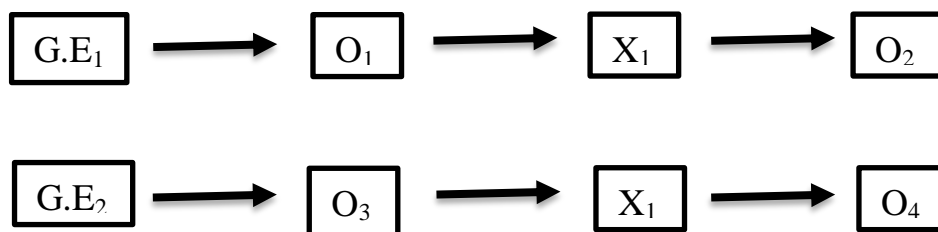
Tipo de investigación : Aplicada:  
Nivel de investigación : Experimental

##### **2.2.2. Diseño de investigación.**

Para la contratación de la hipótesis se utilizó el diseño pre-test y pos-test con dos grupos experimentales, en la cual se compara el tratamiento con aplicación de microorganismos eficientes y ceniza.

El diseño de investigación es el establecido por **Hernández Fernández y Baptista (2010)**. El diagrama es como sigue:

Comparar:



G.E: Grupos experimentales

X<sub>1</sub> : variable independiente

O<sub>1</sub> : información obtenida en las muestras antes de agregar E.M

O<sub>2</sub> : información obtenida en las muestras después de agregar E.M

O<sub>3</sub> : información obtenida en las muestras antes de agregar ceniza

O<sub>4</sub> : información obtenida en las muestras después de agregar ceniza

Se agregará en paralelo microorganismos eficientes y ceniza en letrinas independientes (estos serán depositados en la letrina una vez hecha las necesidades básicas), ambos para el tratamiento de lodos fecales de letrina tradicional simple del centro poblado Perla de Indañe.

Además se manipulará la variable independiente, en donde:

- Los microorganismos eficientes realizarán el proceso de descomposición y deshidratación de lodos fecales, luego se realizará los análisis físico-químicos (T°, pH, DBO, DQO, nitratos, fosfatos) y microbiológicos (coliformes totales y coliformes termotolerantes), en diferentes tiempos.
- De la misma manera se realizará análisis físico-químicos y microbiológicos para el tratamiento de lodos fecales con la aplicación de ceniza, en diferentes tiempos.

Con los datos obtenidos se realizará la comparación de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos entre el tratamiento con microorganismos eficientes y el tratamiento convencional (ceniza) de los lodos

fecales provenientes de letrina tradicional simple, y con ello evaluar si existe diferencia significativa entre ambos tratamientos.

### **2.2.3. Población y muestra**

#### **2.2.3.1. Población.**

Está comprendida por la disposición final de lodos fecales (excretas) de 02 viviendas con 5 integrantes cada una, comprendida con un total de 0.46 m<sup>3</sup> de lodos fecales (heces y orina) acumulados en 02 meses de deposición.

#### **2.2.3.2. Muestra:**

0,5 L por cada muestra llevada a laboratorio, siendo 8 muestreos puntuales, haciendo un total de 4,0 L de lodos fecales.

### **2.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **2.2.4.1. Técnicas de recolección de fuentes primarias.**

*Ficha técnica.* Consistió como herramienta para el llenado de resultados obtenidos en la caracterización por los parámetros temperatura y Potencial de Hidrogeno.

*Construcción de letrina tradicional simple.* Se construyó la letrina tradicional con las siguientes dimensiones.

Una caseta se construyó de madera, para aplicación de E.M y una caseta con cerco de hule para aplicación de lima, ambas con cubierta de calamina. El hoyo tiene un área de 0,92 m<sup>2</sup> con una profundidad de 0,80 metros, la loseta tiene un orificio de 15x30 cm

Para evitar posibles contaminaciones las letrinas se construyeron a estas distancias mínimas entre las siguientes estructuras. (OPS, 2005)

- Letrina – Pozo excavado: 20.00 m
- Letrina – Vivienda: 5.00 m
- Letrina – Linderos de propiedad: 5.00 m
- Letrina – Tanque de agua sobre suelo: 10.00 m
- Letrina – Tanque de agua sobre torre: 8.00 m

- Letrina – Tubo de agua potable: 3.00 m

*Puesta en marcha de la letrina tradicional simple.* El arranque se dio con aproximadamente 2 meses antes del primer muestreo. La letrina empezó a acumular lodos fecales alcanzando una altura de 0.25 metros. Transcurrido este periodo, se toma la primera muestra el día miércoles 27 de septiembre de 2017 (pre-test), posteriormente se realizó la aplicación de cada tratamiento en su letrina correspondiente.

*Activación de los microorganismos eficientes.* Se mesclo homogéneamente 1 litro de ME con los aproximadamente 5kg de aserrín. Luego colocar en un recipiente, dejar reposar de 04 a 07 días, finalmente se mesclo homogéneamente con los lodos fecales la letrina 01. Todo esto con los equipos de protección personal (botas, guantes y mascarilla especial)

*Aplicación de ceniza.* Se mesclo homogéneamente 5 kg de ceniza con los lodos fecales acumulados en la letrina 02. Todo esto con los equipos de protección personal (botas, guantes y mascarilla especial)

#### **2.2.4.2. Técnicas de recolección de fuentes primarias.**

El análisis de los parámetros químicos ( $\text{DBO}_5$ , DQO, nitratos y fosfatos) y microbiológicos (coliformes termotolerantes y totales), fueron caracterizados en el laboratorio Anaquímicos Servicios Generales EIRL, mientras que los parámetros de pH y temperatura fueron caracterizados en campo (in situ).

*Toma de muestras (caracterización quincenal).* El muestreo fue desarrollado después del arranque del sistema siendo el día miércoles 27 de septiembre del 2017 (pre test), al día siguiente se aplicó los tratamientos para cada una de las letrinas. Posteriormente se tomó muestras el 11 y 25 de octubre, finalmente el 08 de noviembre del 2017.

*Muestreo, preservación, conservación y envío de la muestras al laboratorio.* La etapa de recolección de muestras es de trascendental importancia. Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolecta y

manipula adecuadamente las muestras, para esto se seguirán las recomendaciones establecidos en los “Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables 1998”.

*Identificación de las muestras.* Los recipientes fueron identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual fue protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

Número de Muestra (referido al orden de toma de muestra).

Código de identificación (letrina n° 01/02).

- Origen de la fuente.
- Descripción del punto de muestreo.
- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- Tipo de análisis requerido.
- Nombre del responsable del muestreo.
- El Modelo de Etiqueta nos lo proporciona el laboratorio.

#### **2.2.4.3. Instrumentos de recolección de datos.**

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de las caracterizaciones de los parámetros fisicoquímicos (DBO<sub>5</sub>, DQO, Fosfatos y Nitratos) realizados en el laboratorio Anaquímicos Servicios Generales EIRL con los instrumentos y/o equipos de medición como es DR 900 Multiparámetro. Y para el caso de pH el instrumento fue el peachimetro y para la temperatura el termómetro de mercurio.

#### **2.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Se aplicará la estadística descriptiva y experimental, como la media, desviación estándar, coeficiente de variación y los datos resultantes de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica. Para el análisis de la eficiencia de la remoción de parámetros se utilizó la siguiente formula aplicada por Flores (2014), como se detalla a continuación:

$$\% \text{ eficiencia de remoción} = \frac{\text{concentración}_{\text{entrada}} - \text{concentración}_{\text{salida}}}{\text{Concentración}_{\text{entrada}}} \times 100$$

Además, de preferencia, la recolección de los datos debe efectuarse en una forma longitudinal. Esto es, primero recolectar información sobre la variable independiente (causa) y después de un tiempo razonable sobre la variable dependiente (efecto).



## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIONES.

#### 3.1. Determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.

Dentro de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, se determinó los siguientes parámetros: Potencial de Hidrogeno (pH), temperatura ( $T^{\circ}$ ), nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes termotolerantes y coliformes totales. Todos estos en función a cada uno de los tratamientos (microorganismos eficientes y ceniza).

##### a) Caracterización de lodos fecales pre-tratamiento.

A continuación se presentan valores de los análisis físicos, químicos y biológicos de lodos fecales, procedentes de letrinas, sin adicionar tratamiento en los puntos de muestreo (letrina 01 y 02), con el fin de mostrar el contenido inicial de cada parámetro.

**Tabla 5.**

*Caracterización de lodos fecales a los 0 días*

Parámetros	Und.	Letrina 01	Letrina 02
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	23,3	23,7
Potencial de Hidrogeno	-	5	5
Nitratos	mg/L	25,0	27,0
Fosfatos	mg/L	14,0	15,0
Demandad bioquímica de oxígeno	mg/L	2 200,0	2 351,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	2748,0	2833,0
Coliformes termotoletrantes	UFC/100ml	8 540,0	8 620,0
Coliformes totales	UFC/100ml	12 231,0	12 318,0

*Nota: Análisis de agua por Anaquímicos - 2017*

En la tabla n° 05, muestra los resultados del análisis de lodos fecales realizados en los puntos de muestreo (letrina 01 y 02) sin ningún tratamiento. Los resultados mostrados, son el punto de inicio de los tratamientos con el cual se podrá medir y comparar.

La caracterización inicial del LF permitió determinar las concentraciones en las cuales se encontraban los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados durante el estudio.

**b) Caracterización de lodos fecales pos- tratamiento (día 15).**

Al día 02, después de haber tomado la primera muestra, se procedió a agregar E.M para la letrina 01 y ceniza para la letrina 02. A los 15 días de adicionar los microorganismos eficientes para un tratamiento y la ceniza para el siguiente se tomó la segunda muestra, los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 6.**

*Caracterización de lodos fecales a los 15 días*

Parámetros	Und.	Letrina 01 (E.M)	Letrina 02 (CENIZA)
Temperatura	T°	23,9	25,1
Potencial de Hidrogeno	-	6,5	7,3
Nitratos	mg/L	22,0	17,0
Fosfatos	mg/L	12,0	9,0
Demandad bioquímica de oxígeno	mg/L	1 972,0	1 532,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	2 122,0	1 779,0
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	8 120,0	6 911,0
Coliformes totales	UFC/100ml	11 988,0	9 257,0

*Nota: Análisis de agua por Anaquímicos - 2017*

En la tabla n° 06, se evidencia los resultados del análisis de L.F del muestreo que fue tomada a los 15 días de adicionar los microorganismos eficientes y la ceniza en la letrina 01 y 02 respectivamente.

**c) Caracterización de lodos fecales con tratamiento (día 30).**

Después de 30 días de adicionar los microorganismos eficientes y ceniza a cada una de las letrinas para tratar lodos fecales se tomó las respectivas muestras, los resultados se presentan a continuación.

**Tabla 7.**

*Caracterización de lodos fecales a los 30 días*

Parámetros	Und.	Letrina 01 (E.M)	Letrina 02 (CENIZA)
Temperatura	T°	25,9	25,2
Potencial de Hidrogeno	-	7,5	7,0
Nitratos	mg/L	6,0	14,0
Fosfatos	mg/L	4,0	7,0
Demandad bioquímica de oxígeno	mg/L	210,0	652,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	321,0	748,0
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	756,0	1250,0
Coliformes totales	UFC/100ml	1 140,0	1 542,0

*Nota: Análisis de agua por Anaquímicos - 2017*

En la tabla n° 07, se evidencia los resultados del análisis de L.F de las respectivas muestras que fueron tomadas a los 30 días de adicionar los microorganismos eficientes y la ceniza en la letrina 01 y 02 respectivamente.

**d) Caracterización de lodos fecales con tratamiento (día 45).**

A los 45 días de la adicción de microorganismos eficientes y la ceniza se realizaron los últimos muestreos, los resultados se presentan a continuación.

**Tabla 8.***Caracterización de lodos fecales a los 45 días*

Parámetros	Und.	Letrina 01 (E.M)	Letrina 02 (CENIZA)
Temperatura	T°	27,8	26,0
Potencial de Hidrogeno	-	8,9	7,8
Nitratos	mg/L	2,0	12,0
Fosfatos	mg/L	3,0	5,0
Demandad bioquímica de oxígeno	mg/L	55,0	457,0
Demanda química de oxígeno	mg/L	100,0	521,0
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	270,0	845,0
Coliformes totales	UFC/100ml	632,0	1 018,0

*Nota: Análisis de agua por Anaquímicos - 2017*

En la tabla n° 08, se evidencia los resultados del análisis de L.F de las muestras que fueron tomadas a los 45 días de adicionar los microorganismos eficientes y la ceniza en la letrina 01 y 02 respectivamente.

Cabe recalcar que para todas las muestras tomadas, los parámetros de T° y pH se realizó IN SITU, con el fin de evitar alteraciones al transportar muestras al laboratorio.

### **3.2. Evaluación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.**

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los análisis en función a la frecuencia y repeticiones que se realizó a los L.F por cada tratamiento establecido en la metodología de la investigación.

#### **3.2.1. Evaluación de los parámetros físico-químico y microbiológico con aplicación de microorganismos eficientes.**

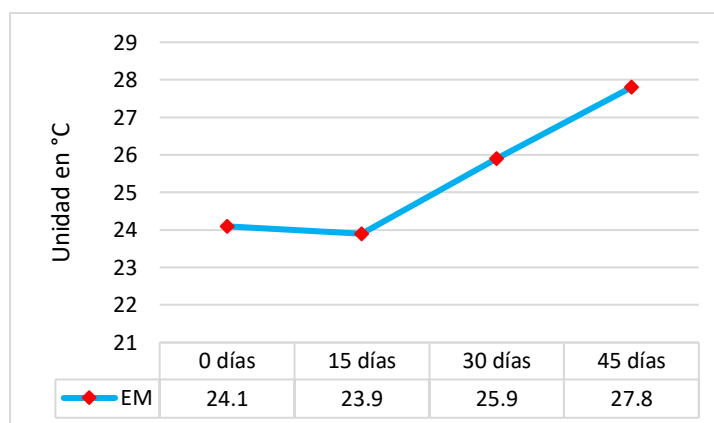
### a. Temperatura ( $T^{\circ}$ )

**Tabla 9.**

*Variación de la  $T^{\circ}$  en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	24,1	23,9	25,9	27,8

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 1.** Variación de la  $T^{\circ}$  en letrina 01

En la figura 1, se evidencia los resultados de la  $T^{\circ}$  tomada de la letrina n° 01 a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la  $T^{\circ}$  se ha ido incrementado con el pasar del tiempo, donde inicia con  $23,3^{\circ}\text{C}$  y finaliza con  $27,8^{\circ}\text{C}$ .

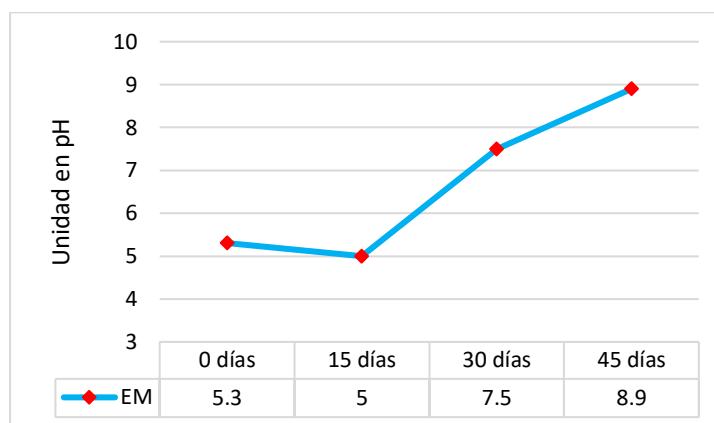
### b. Potencial de hidrógenos (pH)

**Tabla 10.**

*Variación del pH en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
pH	-	5,0	6,5	7,5	8,9

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 2.** Variación del pH en letrina 01

En la figura 2, se evidencia los resultados del pH tomada de la letrina n° 01 a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el pH se ha ido incrementado con el pasar del tiempo, donde inicia con 5,0 y finaliza con 8,9

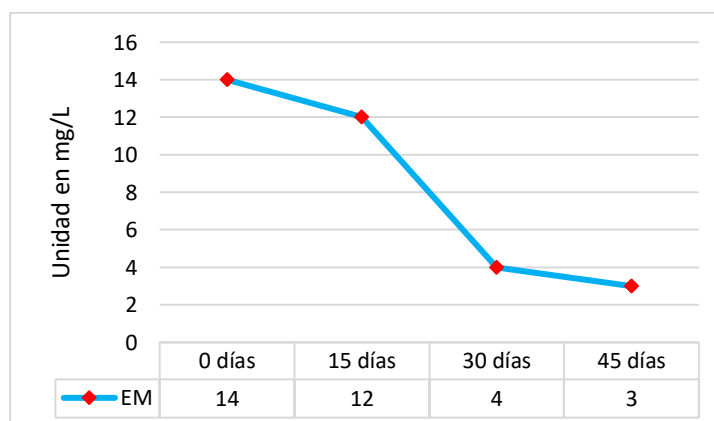
**c. Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

**Tabla 11.**

*Variación del fosfato en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Fosfatos	mg/L	14	12	4	3

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 3.** Variación del fosfato en letrina 01

En la figura 3, se evidencia los resultados del fosfato tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el fosfato ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 14 mg/L y finaliza con un mínimo de 3 mg/L.

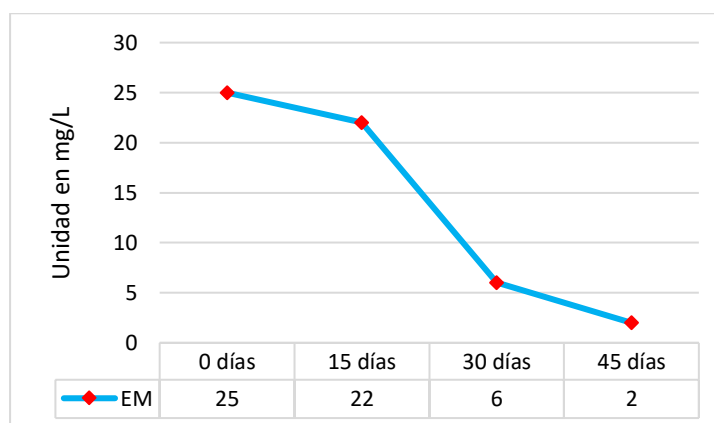
#### d. Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ )

**Tabla 12.**

*Variación del nitrato en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Nitratos	mg/L	25	22	6	2

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 4.** Variación del nitrato en letrina 01

En la figura 4, se evidencia los resultados del nitrato tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el nitrato ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 25 mg/L y finaliza con un mínimo de 2 mg/L.

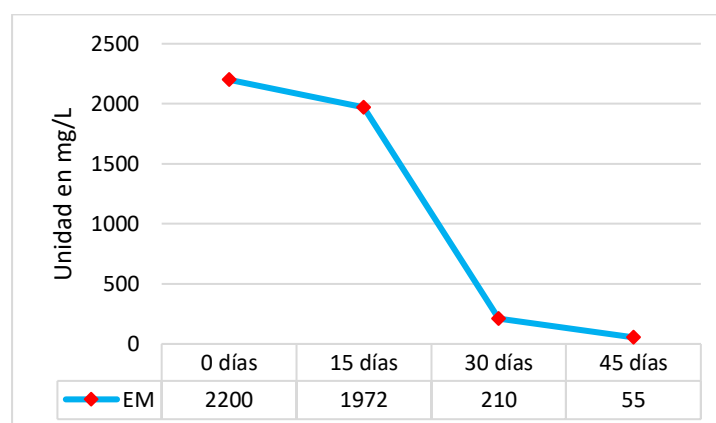
**e. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

**Tabla 13.**

*Variación de la DBO5 en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Demanda					
Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2 200	1 972	210	55

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 5.** Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en letrina 01

En la figura 5, se evidencia los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la DBO5 ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 2 200 mg/L y finaliza con un mínimo de 55 mg/L.



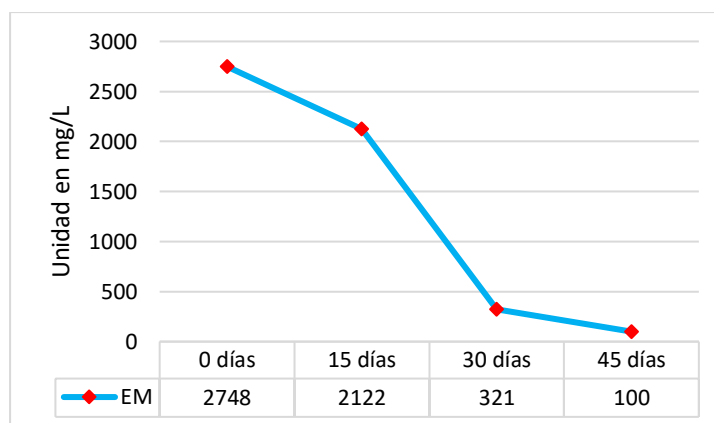
## f. Demanda química de oxígenos (DQO)

**Tabla 14.**

*Variación de la DQO en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Demanda					
Química de Oxígeno	mg/L	2 748	2 122	321	100

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 6.** Variación de la demanda química de oxígeno en letrina 01

En la figura 6, se evidencia los resultados de la demanda química de oxígeno tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la DQO ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 2 748 mg/L y finaliza con un mínimo de 100 mg/L.

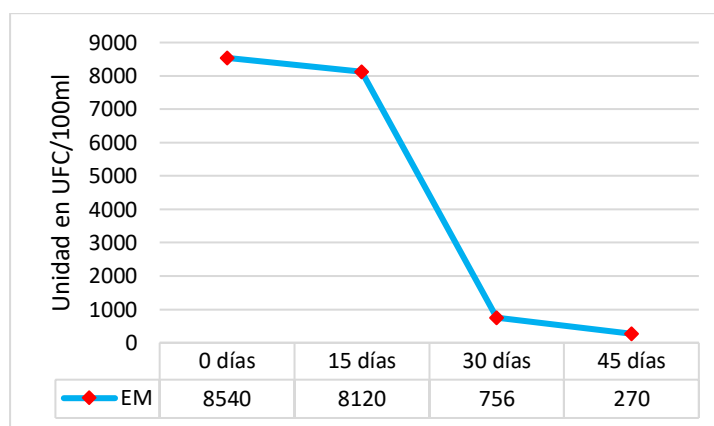
**g. Coliformes termotolerantes**

**Tabla 15.**

*Variación de coliformes termotolerantes en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>Coliformes termotolerantes</b>	UFC/100ml	8 540	8 120	756	270

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 7.** Variación de coliformes termotolerantes en letrina 01

En la figura 7, se evidencia los resultados de coliformes termotolerantes tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que los coliformes termotolerantes ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 8 540 UFC/100ml y finaliza con un mínimo de 270 UFC/100ml.

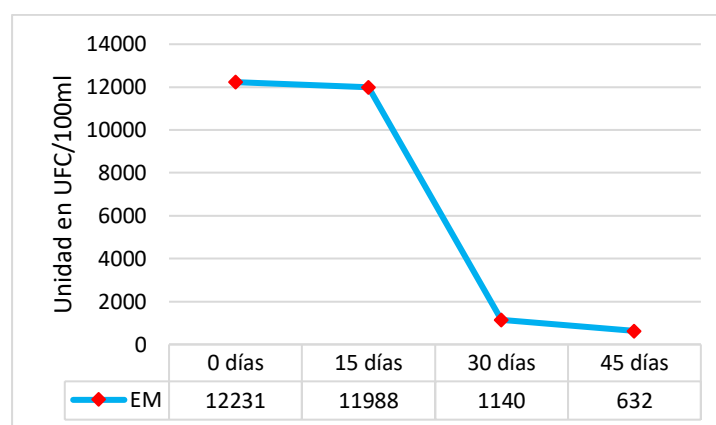
## h. Coliformes totales

**Tabla 16.**

*Variación de coliformes totales en letrina 01*

Parámetro	Und.	Letrina 01			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>Coliformes totales</b>	UFC/100ml	12 231	11 988	1 140	632

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 8.** Variación de coliformes totales en letrina 01

En la figura 8, se evidencia los resultados de coliformes totales tomada de la letrina n° 01 con aplicación de E.M, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que los coliformes termotolerantes ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 12 231 UFC/100ml y finaliza con un mínimo de 632 UFC/100ml.

### 3.2.2. Evaluación de los parámetros físico-químico y microbiológico con aplicación de ceniza.

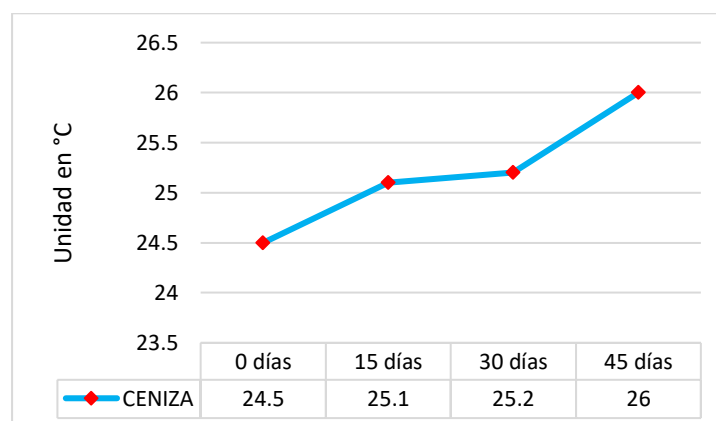
#### a. Temperatura (°C)

**Tabla 17.**

*Variación de la T° en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>Temperatura</b>	<b>°C</b>	24,5	25,1	25,2	26

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 9.** Variación de la T° en letrina 02

En la figura 9, se evidencia los resultados de la T° tomada de la letrina n° 02 a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la T° se ha ido incrementado con el pasar del tiempo, donde inicia con 23,7°C y finaliza con 26,0°C.

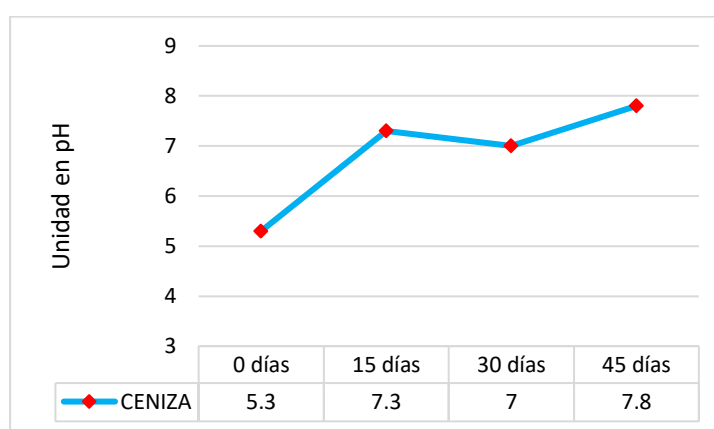
### b. Potencial de hidrógenos (pH)

**Tabla 18.**

*Variación del pH en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>pH</b>	-	5,0	7,3	7,0	7,8

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 10.** Variación del pH en letrina 02.

En la figura 10, se evidencia los resultados del pH tomada de la letrina n° 02 a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el pH se ha ido incrementado con el pasar del tiempo, donde inicia con 5,0 y finaliza con 7,8

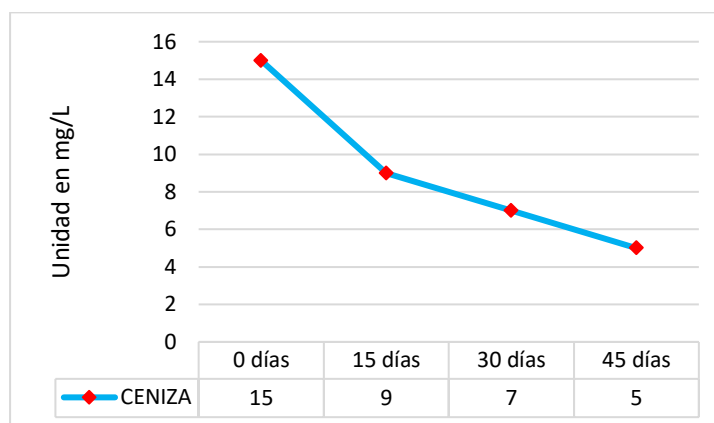
### c. Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

**Tabla 19.**

*Variación del fosfato en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>Fosfatos</b>	mg/L	15	9	7	5

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 11.** Variación del fosfato en letrina 02.

En la figura 11, se observa los resultados del fosfato tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el fosfato ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 15 mg/L y finaliza con un mínimo de 3 mg/L.

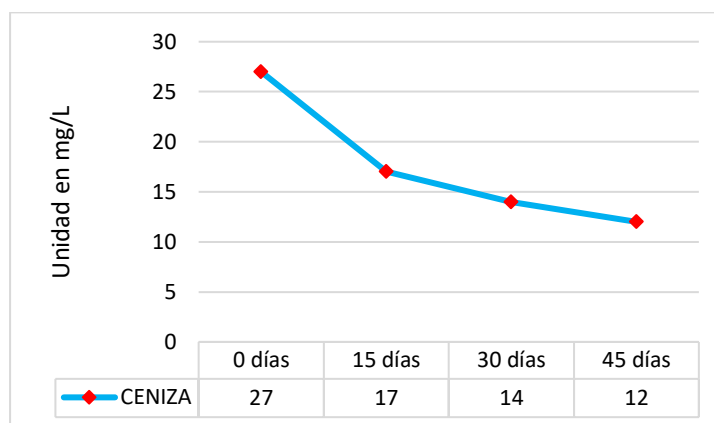
#### d. Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ )

**Tabla 20.**

*Variación del nitrato en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días
<b>Nitratos</b>	mg/L	27	17	14	12

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 12.** Variación del nitrato en letrina 02

En la figura 12, se observa los resultados del nitrato tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que el nitrato ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 27 mg/L y finaliza con un mínimo de 12 mg/L.

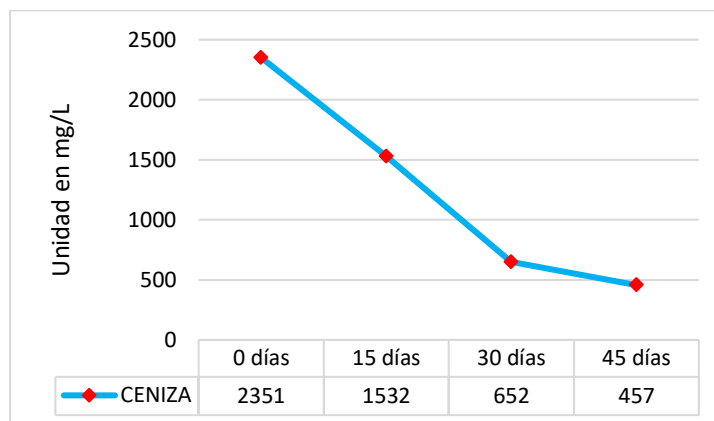
#### e. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

**Tabla 21.**

*Variación de la DBO5 en letrina 02.*

Parámetro		Und.	Letrina 02			
			0 días	15 días	30 días	45 días
Demanda						
Bioquímica	de	mg/L	2 351	1 532	652	457
Oxígeno						

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 13.** Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en letrina 02.

En la figura 13, se observa los resultados de la  $DBO_5$  tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la  $DBO_5$  ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 2 351 mg/L y finaliza con un mínimo de 457 mg/L.

#### f. Demanda química de oxígenos (DQO)

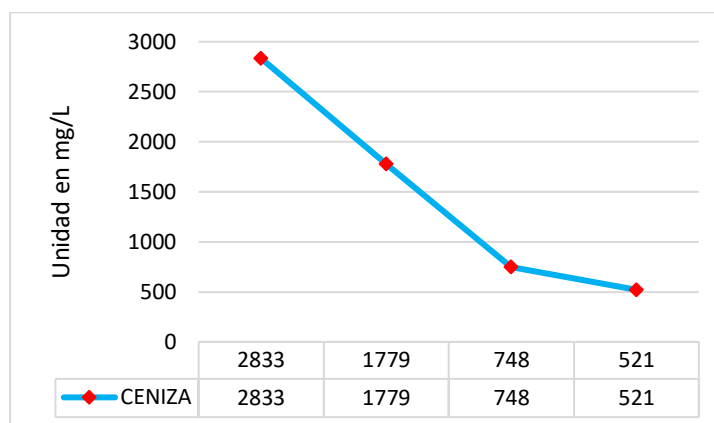
**Tabla 22.**

*Variación de la DQO en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02				
		0 días	15 días	30 días	45 días	
Demanda						
Química	de	mg/L	2 833	1 779	748	521
Oxígeno						

*Nota: elaboración propia – 2017*





**Figura 14.** Variación de la demanda química de oxígeno en letrina 02.

En la figura 14, se observa los resultados de la demanda química de oxígeno tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que la DQO ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 2 833 mg/L y finaliza con un mínimo de 521 mg/L.

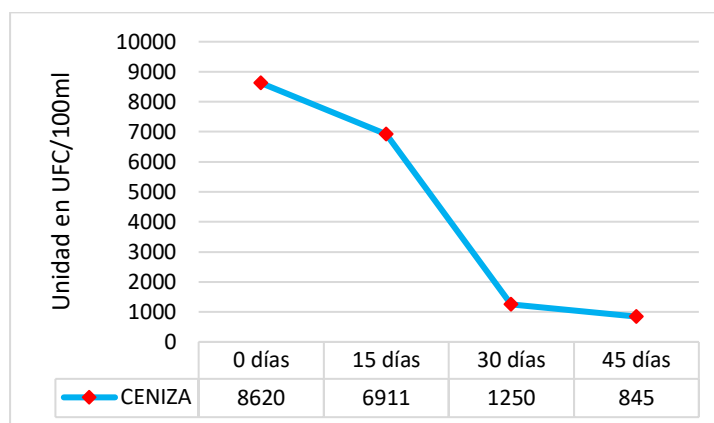
#### g. Coliformes termotolerantes

**Tabla 23.**

*Variación de coliformes termotolerantes en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días
Coliformes termotolerantes	UFC/ 100ml	8 620	6 911	1 250	845

*Nota: elaboración propia – 2017*



**Figura 15.** Variación de coliformes termotolerantes en letrina 02.

En la figura 15, se observa los resultados de coliformes termotolerantes tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que los coliformes termotolerantes ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 8 620 UFC/100ml y finaliza con un mínimo de 845 UFC/100ml.

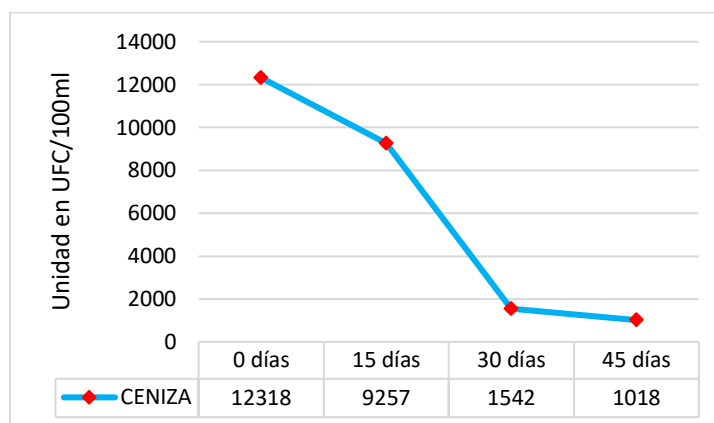
#### **h. Coliformes totales**

**Tabla 24.**

*Variación de coliformes totales en letrina 02.*

Parámetro	Und.	Sin E.M	Letrina 02			
		0 días	15 días	30 días	45 días	
Coliformes totales	UFC/100ml	12 318	9 257	1 542	1 018	

*Nota: elaboración propia – 2017*



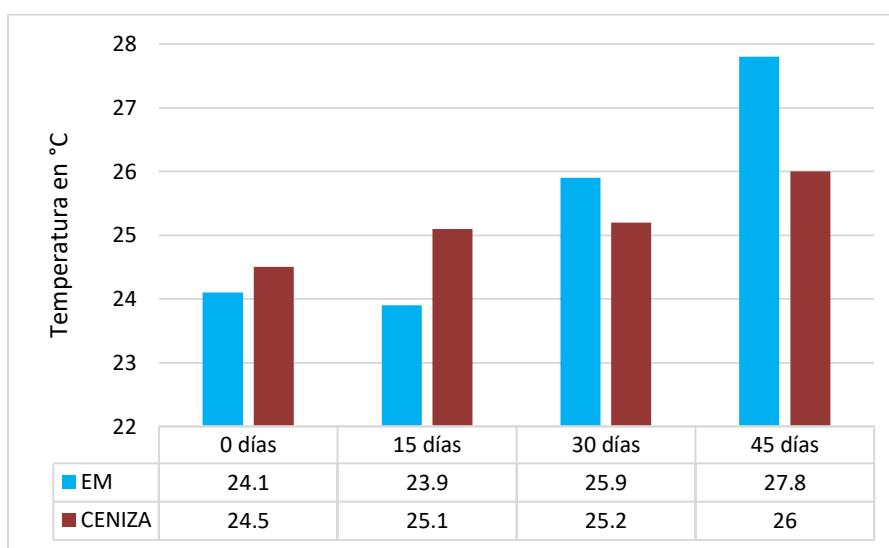
**Figura 16.** Variación de coliformes totales en letrina 02.

En la figura 16, se observa los resultados de coliformes totales tomada de la letrina n° 02 con aplicación de ceniza, las muestras fueron tomadas a los 0 días, 15 días, 30 días y 45 días (sin y con tratamiento) donde se observa que los coliformes totales ha ido disminuyendo significativamente con el pasar del tiempo, donde inicia con un máximo de 12 318 UFC/100ml y finaliza con un mínimo de 1 018 UFC/100ml.

### 3.3. Comparación de los parámetros físico entre ambos tratamientos (E.M y ceniza)

A continuación se muestran los resultados de los parámetros físicos (temperatura y Potencial de Hidrogeno) obtenidos de ambos tratamientos con el fin de hacer una comparación entre los mismos.

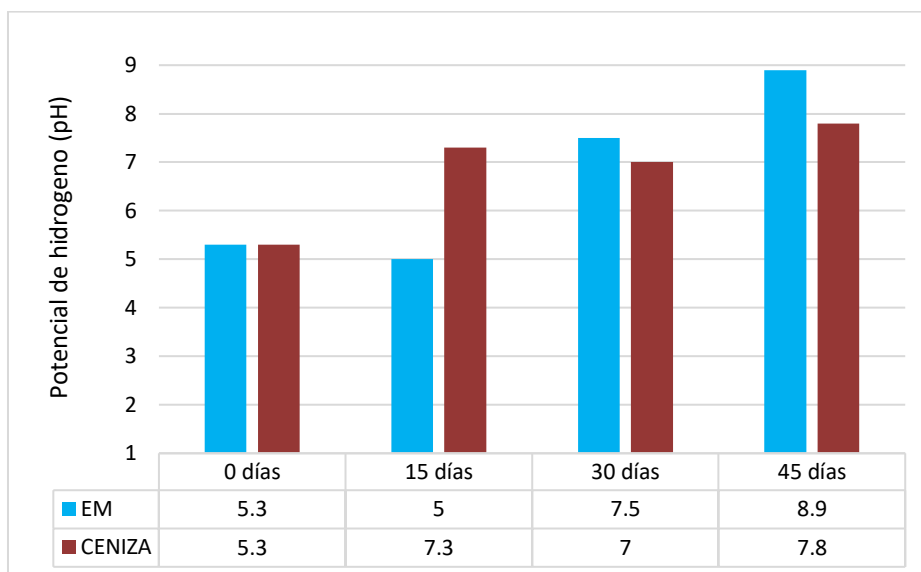
**a. Temperatura (°C)**



**Figura 17.** Variación de la T° entre ambos tratamientos.

En la figura 17 se observa los rangos de la concentración registrados de la T° al iniciar el tratamiento con E.M en el día 0 hasta el día 15 es de 23,3°C y 23,9°C es menor en comparación con el tratamiento de ceniza 23,7°C y 25,1°C , pero al finalizar el proceso día 30 y día 45 los resultados se invirtieron donde la más alta T° es para el tratamiento con E.M es de 25,9°C y 27,8°C en comparación con el tratamiento con ceniza 25,2°C y 26°C .

### b. Potencial de Hidrogeno (pH)



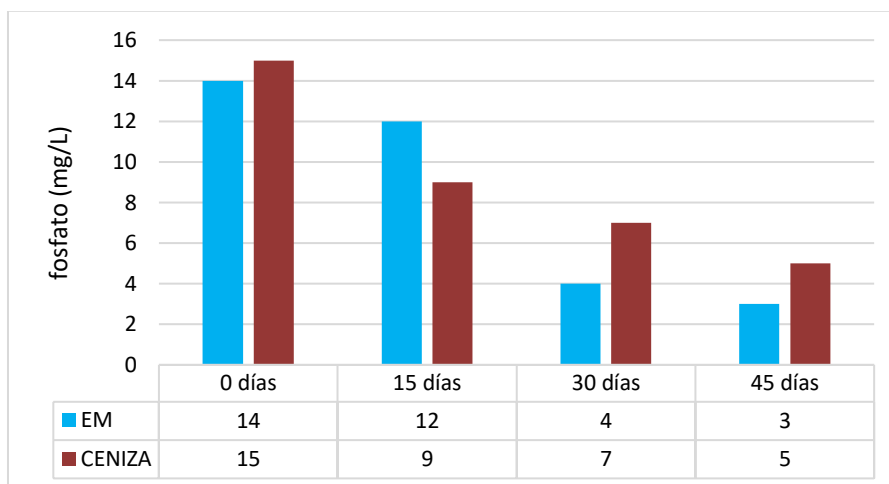
**Figura 18.** Variación del pH entre ambos tratamientos.

En la figura 18 se observa que el pH marca 5,3 al iniciar el tratamiento con E.M y ceniza, al día 15 decrece el pH 5,0 para el tratamiento con E.M y se incrementa a pH 7,3 para el tratamiento con ceniza, posteriormente al día 30 los resultados se invierten marcando un pH 7,5 para el tratamiento con E.M y de pH 7,0 para tratamiento con ceniza. Finalmente al día 45 en forma creciente para ambos tratamientos, con un pH 8,9 y 7,8 respectivamente.

### 3.4. Comparación y % de eficiencia de los parámetros químicos y microbiológicos entre ambos tratamientos (E.M y ceniza)

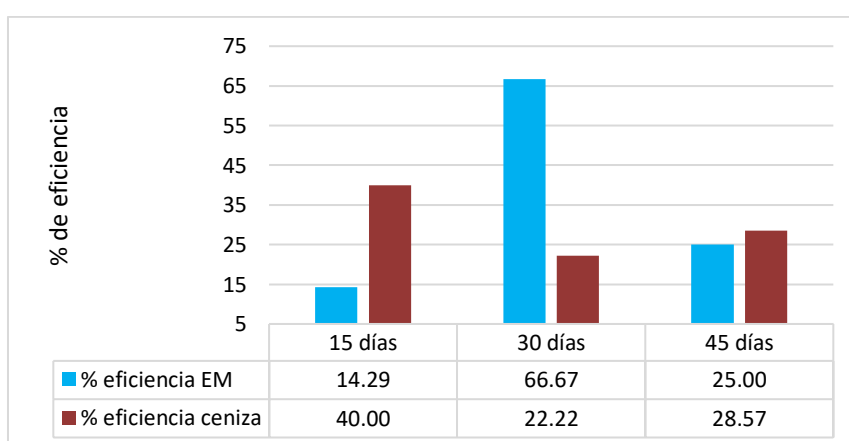
A continuación se muestran los resultados obtenidos de ambos tratamiento con el fin de hacer una comparación entre los mismos.

**a. Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**



**Figura 19.** Variación del fosfato entre ambos tratamientos.

En la figura 19 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada del fosfato es de 14 mg/L en el día 0 y la mínima de 3 mg/L a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 15 mg/L a los 0 días y un mínimo de 5 mg/L a los 45 días.

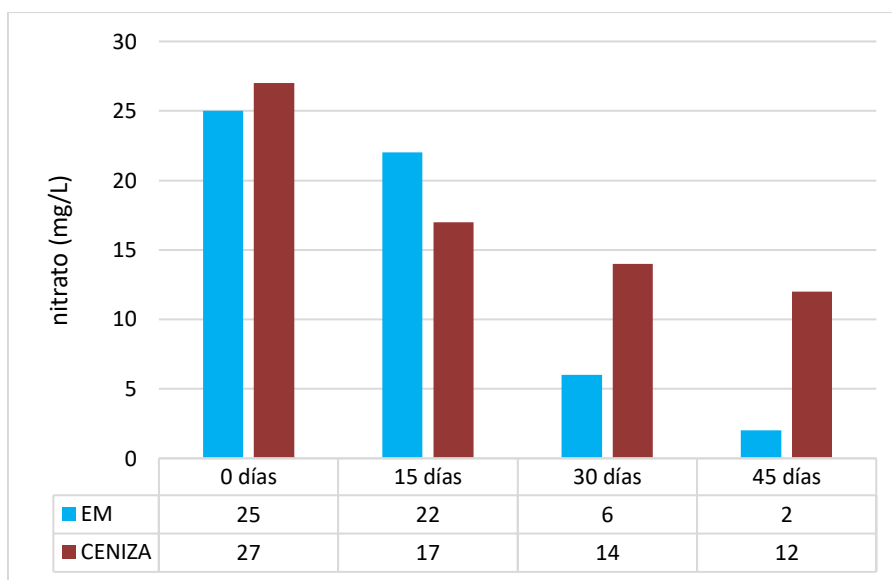


**Figura 20.** Eficiencia de la remoción del fosfato entre ambos tratamientos.

En la figura 20 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para fosfato es de 66,67% en el día 30 y la mínima de 14,29% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza

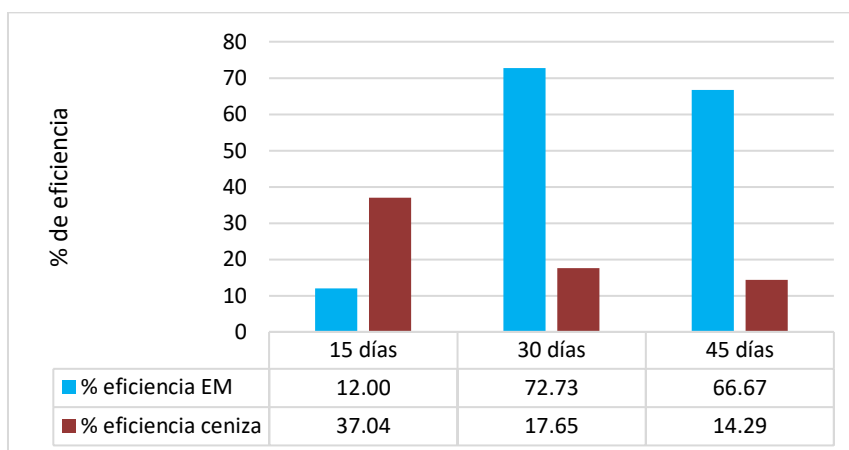
que registra un máximo de 40,00% a los 15 días y un mínimo de 22,22% a los 30 días.

#### b. Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ )



**Figura 21.** Variación del nitrato entre ambos tratamientos.

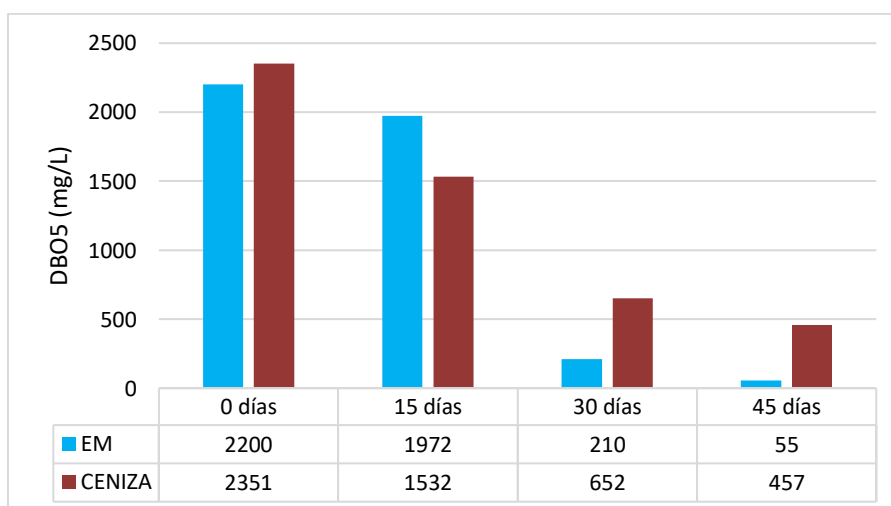
En la figura 21 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada del nitrato es de 25 mg/L en el día 0 y la mínima de 2 mg/L a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 27 mg/L a los 0 días y un mínimo de 12 mg/L a los 45 días.



**Figura 22.** Eficiencia de la remoción del nitrato entre ambos tratamientos.

En la figura 22 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para nitrato es de 72,73% en el día 30 y la mínima de 12,00% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra un máximo de 37,04% a los 15 días y un mínimo de 14,29% a los 45 días.

### c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

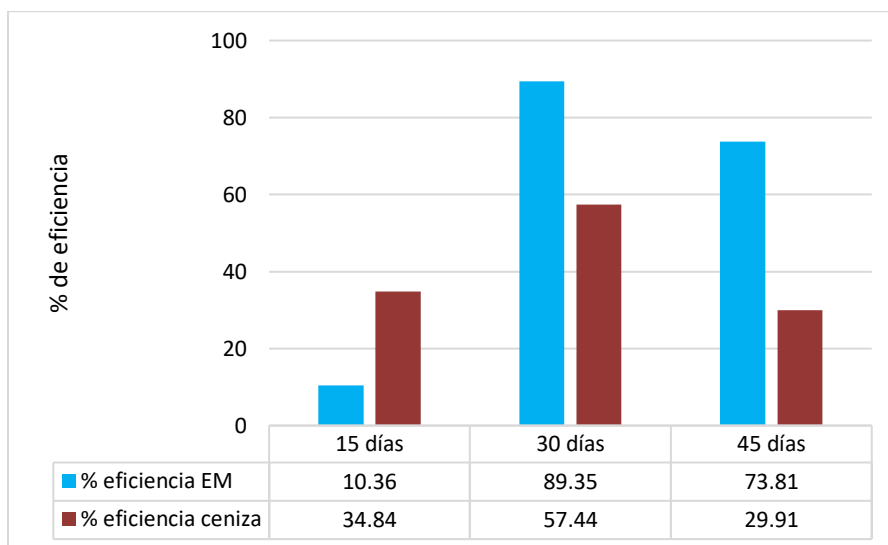


**Figura 23.** Variación de la DBO<sub>5</sub> entre ambos tratamientos.

En la figura 23 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada de la DBO<sub>5</sub> es de 2 200 mg/L en el día 0 y la mínima de 55



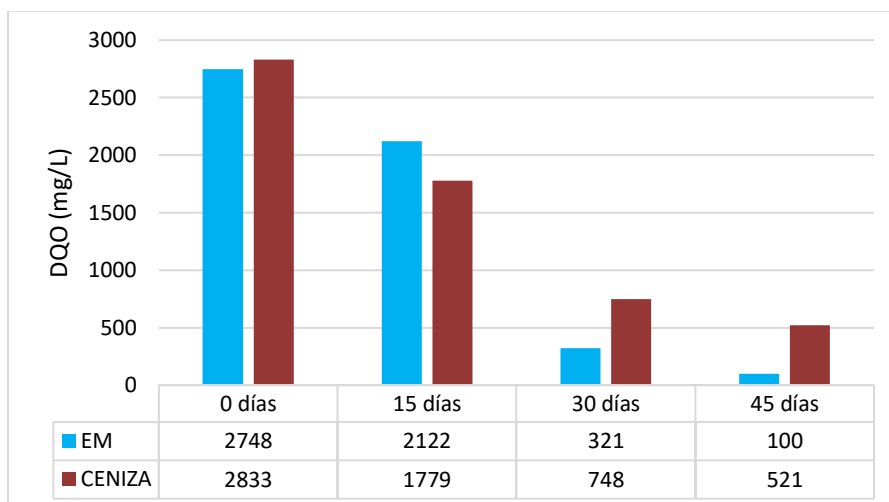
mg/L a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 2 351 mg/L a los 0 días y un mínimo de 457 mg/L a los 45 días.



**Figura 24.** Eficiencia de la remoción de la DBO5 entre ambos tratamientos.

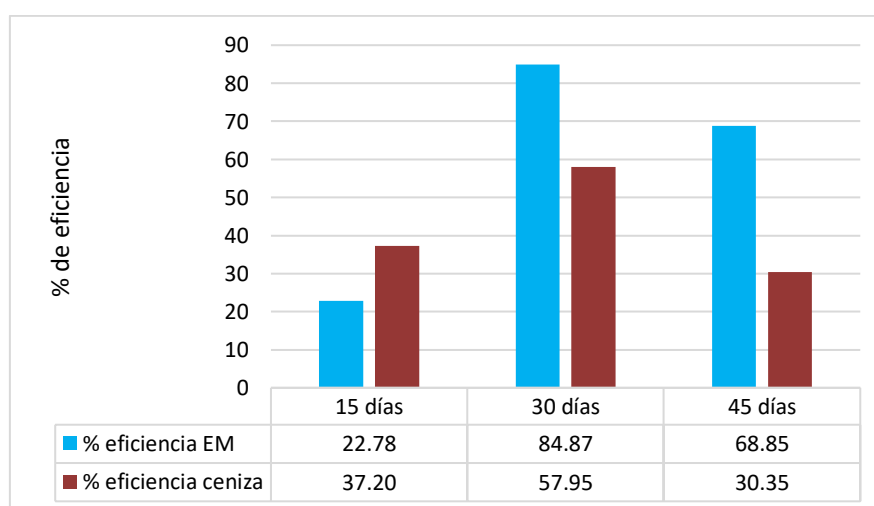
En la figura 24 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para la demanda bioquímica de oxígeno es de 89,35% en el día 30 y la mínima de 10,36% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra un máximo de 57,44% a los 30 días y un mínimo de 29,91% a los 45 días.

#### d. Demanda química de oxígeno (DQO)



**Figura 25.** Variación de la DQO entre ambos tratamientos.

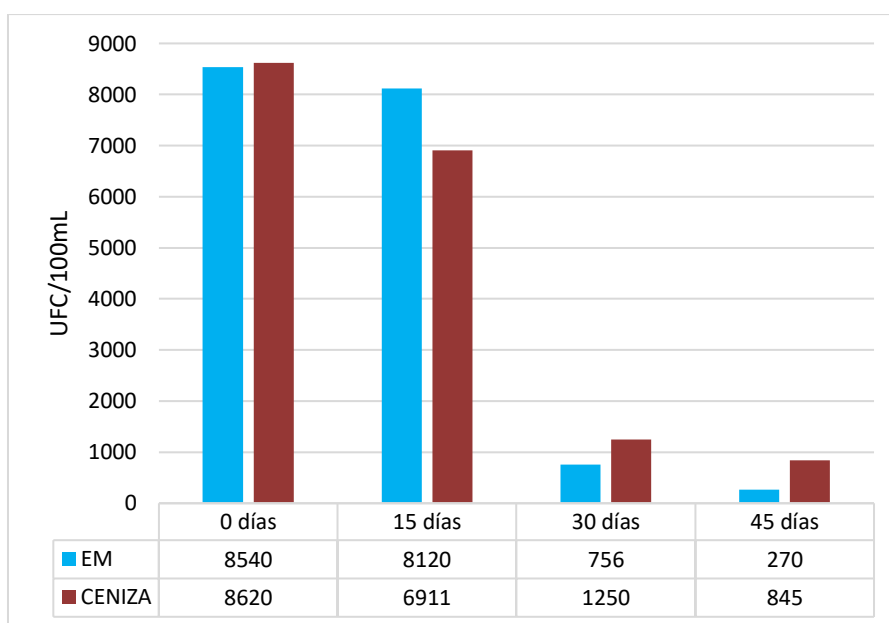
En la figura 25 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada de la demanda química de oxígeno es de 2 748 mg/L en el día 0 y la mínima de 100 mg/L a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 2 833 mg/L a los 0 días y un mínimo de 521 mg/L a los 45 días.



**Figura 26.** Eficiencia de la remoción de la DQO entre ambos tratamientos.

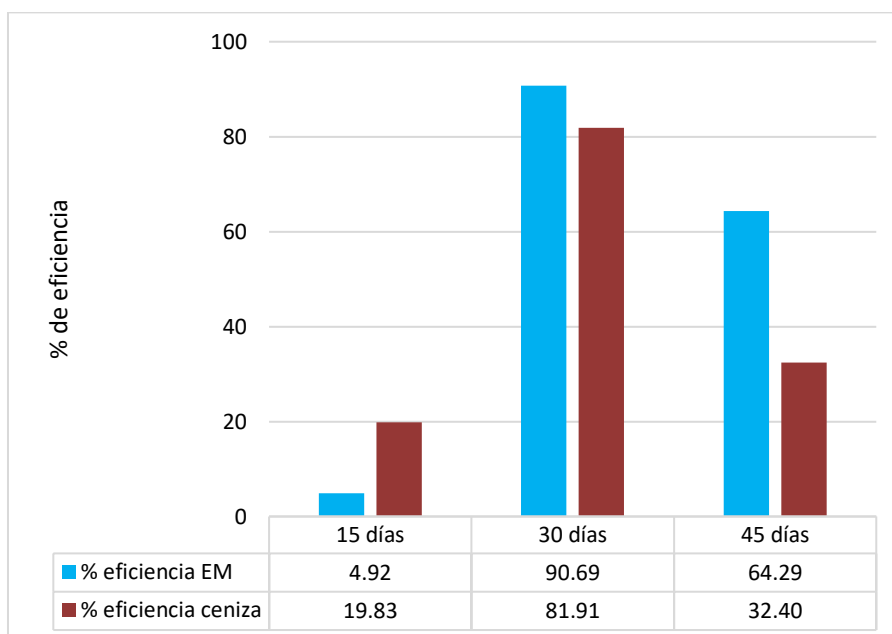
En la figura 26 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para la demanda química de oxígeno es de 84,87% en el día 30 y la mínima de 22,78% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra un máximo de 57,95% a los 30 días y un mínimo de 30,35% a los 45 días.

**e. Coliformes termotolerantes**



**Figura 27.** Variación de coliformes termotolerantes entre ambos tratamientos.

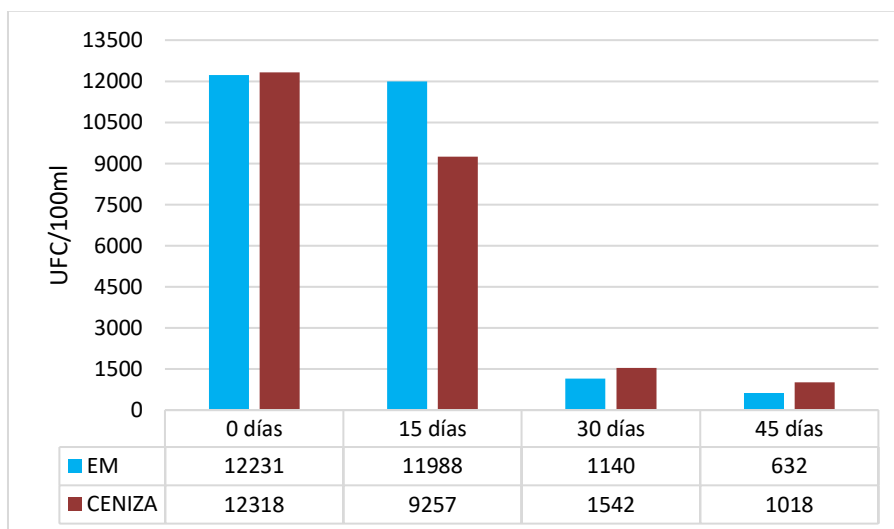
En la figura 27 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada de coliformes termotolerantes es de 8 540 UFC/100ml en el día 0 y la mínima de 270 UFC/100ml a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 8 620 UFC/100ml a los 0 días y un mínimo de 845 UFC/100ml a los 45 días.



**Figura 28.** Eficiencia de la remoción de coliformes termotolerantes entre ambos tratamientos.

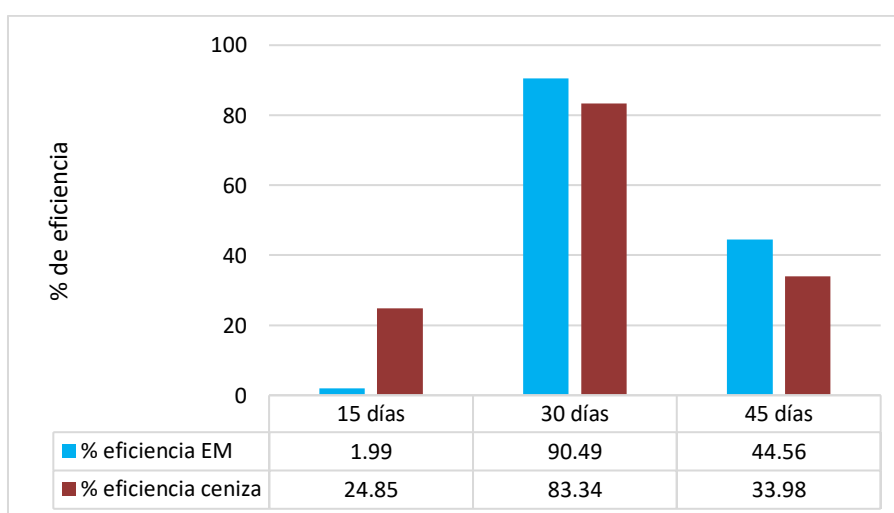
En la figura 28 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para coliformes termotolerantes es de 90,69% en el día 30 y la mínima de 4,92% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra un máximo de 81,91% a los 30 días y un mínimo de 19,83% a los 45 días.

### f. Coliformes totales



**Figura 29.** Variación de coliformes totales entre ambos tratamientos.

En la figura 29 se observa que en el tratamiento con E.M, la concentración máxima registrada de coliformes totales es de 12 231 UFC/100ml en el día 0 y la mínima de 632 UFC/100ml a los 45 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra una contracción máxima de 12 318 UFC/100ml a los 0 días y un mínimo de 1018 UFC/100ml a los 45 días.



**Figura 30.** Eficiencia de la remoción de coliformes totales entre ambos tratamientos.

En la figura 30 se observa que en el tratamiento con E.M, el porcentaje máximo de remoción registrada para coliformes termotolerantes es de 90,49% en el día 30 y la mínima de 1,99% a los 15 días. En comparación con el tratamiento con ceniza que registra un máximo de 83,34% a los 30 días y un mínimo de 24,85% a los 45 días.

**Tabla 25.**

*Eficiencia de remoción del día 0 al día 45*

Parámetros	Microorganismos		Ceniza		Eficiencia de remoción	
	eficientes					
	Día 0	Día 45	Día 0	Día 45	E.M	Ceniza
<b>Fosfatos (mg/L)</b>	14	3,0	15,0	5,0	78,57 %	66,67 %
<b>Nitratos (mg/L)</b>	25,0	2,0	27,0	12,0	92,00 %	55,56 %
<b>DBO (mg/L)</b>	2 200,0	55,0	2 351,0	457,0	97,50 %	80,56 %
<b>DQO (mg/l)</b>	2 748,0	100,0	2 833,0	521,0	96,36 %	81,61 %
<b>Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)</b>	8 540,0	270	8 620	845	96,84 %	90,20 %
<b>Coliformes totales (UFC/100ml)</b>	12 231	632	12 318	1 018	94,83 %	91,74 %

*Nota: elaboración propia – 2017*

### 3.5. Evaluación para contrastación de hipótesis basada en el análisis de varianza (anova)

Prueba de hipótesis:

Nivel de significancia:  $\alpha=0,05$

H0:  $u_1 = u_2$

H1:  $u_1 \neq u_2$

Donde:

H0: hipótesis nula

H1 hipótesis alterna

u1: Media aplicación de microorganismos eficientes

u2: Media aplicación de ceniza.

**Tabla 26.**

*Variación de la DBO<sub>5</sub> en función al tratamiento*

Tratamientos	Días de muestreo				$\Sigma$	X
	0 Días	15 Días	30 Días	45 Días		
<b>T1</b>	2 200,00	1 972,00	210,00	55,00	2 255,00	1 109,25
<b>T2</b>	2 351,00	1 532,00	652,00	457,00	2 808,00	1 248,00
$\Sigma$	4 551,00	3 504,00	862,00	512,00	391,68	
<b>X</b>	2 275,50	1 752,00	431,00	256,00		1 178,63

*Nota: elaboración propia – 2017*

En la tabla n° 26 se puede observar el promedio general de la DBO<sub>5</sub> 1 178,63 mg/L, además que existe una diferencia de medias para el tratamiento T1 (aplicación de E.M) y para el tratamiento T2 (aplicación de ceniza) en función al día de muestreo.

**Tabla 27.**

*Análisis de varianza de la DBO<sub>5</sub> de lodos fecales con aplicación de E.M y ceniza en función a los días de muestreo.*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadro medio	Valor F calculado	Valor crítico para F	Decisión
Entre tratamientos	5'884 147,375	3	1'961 382,458	27,366	6,591	Acepto H1
Dentro de los tratamientos o error residual	286 684,5	4	71 671,125			
Total	6'170,831,875	7				

*Nota: elaboración propia – 2017*

El análisis de variancia de la DBO<sub>5</sub>, con un nivel de significancia al 5% presenta diferencia estadística significativa entre el tratamiento T1 (con aplicación de E.M) y el tratamiento T2 (con aplicación de ceniza).

Según la tabla n° 27, se puede afirmar que existe una diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T2, dado que el valor F calculado (27,366) es mayor que el valor F tabulado (6,591), por tanto se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1)

**Tabla 28.**

*Variación de la DQO en función al tratamiento*

Tratamientos	Días de muestreo				$\Sigma$	X
	0 Días	15 Días	30 Días	45 Días		
<b>T1</b>	2 748,00	2 122,00	321,00	100,00	2 848,00	1 322,75
<b>T2</b>	2 833,00	1 779,00	748,00	521,00	3 354,00	1 470,25
$\Sigma$	5 581,00	3 901,00	1 069,00	621,00	391,68	
<b>X</b>	2 790,50	1 950,50	534,50	310,50		1 396,50

*Nota: elaboración propia – 2017*

En la tabla n° 28 se puede observar el promedio general de la DQO 1 396,50 mg/L, además que existe una diferencia de medias por cada tratamiento y por día de muestreo, esto se atribuye a la aplicación del tratamiento T1 (aplicación de E.M) y el tratamiento T2 (aplicación de ceniza).



**Tabla 29.**

*Análisis de varianza de la DQO de lodos fecales con aplicación de E.M y ceniza en funcion a los dias de muestreo.*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadro medio	Valor F calculado	Valor crítico para F	Decisión
Entre tratamiento	8'345 184	3	2'781 728	45,937	6,591	Acepto H1
Dentro de los tratamientos o error residual	242 222	4	60 555,5			
Total	8'587 406	7				

*Nota: elaboración propia – 2017*

El análisis de variancia de la DQO, con un nivel de significancia al 5% presenta diferencia estadística significativa entre el tratamiento T1 (con aplicación de E.M) y el tratamiento T2 (con aplicación de ceniza).

Según la tabla n° 29, se puede afirmar que existe una diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T2, dado que el valor F calculado (45,937) es mayor que el valor F tabulado (6,591), por tanto se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1)

### 3.6. Discusión de resultados.

Tratamiento 01 con E.M pH 5,3 temperatura 24,1 °C, incremento de pH a 8,9 la temperatura también se incrementa a 27,8 °C; tratamiento 02 con ceniza pH 5,3 temperatura 24,5 °C, incremento de pH a 7,8 la temperatura también se incrementa a 26 °C. Se puede denotar que a temperatura está directamente proporcional al pH, en los dos tratamiento se observó que a mayor pH, mayor incremento de temperatura, oxidación bacteriana de la materia orgánica.

Este parámetro difiere a lo encontrado por (Fioravanti, 2005), quien evaluó a los microorganismos eficientes como estabilizador de agua residual y lodos sépticos y en cuyo trabajo se presentó una disminución en el pH de 6,3 a 4,5 y el color del agua residual se tornó un color café – caramelo.

Sin embargo Roldan (2007), afirma que los valores de pH no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Los análisis realizados al parámetro Fosfatos, para el tratamiento 01 con E.M inicia con 14 mg/L y finaliza con 3 mg/L estos resultados muestran una reducción del 78,57% de la concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 15 mg/L y finaliza con 5 mg/L, estos resultados muestran una reducción del 66,67% de este contaminante.

Si la orina de la letrina y las heces son compostadas conjuntamente en lugar de únicamente las heces, entonces la entrada de N en la composta aumenta de 3-8 veces y la mayoría del N de la orina se pierde, ya que está básicamente en forma de amoníaco, que escapa fácilmente (Sonesson, 1996; Eklind y Kirchmann, 2000)

El pH de la orina aumenta a 9-9,3 debido a la degradación de la urea a amonio y a este pH alto las concentraciones iniciales de fosfato, magnesio, calcio y amonio ya no son solubles, sino que se precipitan. Del P de la orina, el 30% o más se transforma eventualmente en sedimentos (Jönsson et al., 2000; Udert et al, (2003).

Los análisis realizados al parámetro nitratos, para el tratamiento 01 con E.M inicia con 25 mg/L y finaliza con 2 mg/L estos resultados muestran una reducción del 92% de la

concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 27 mg/L y finaliza con 12 mg/L, estos resultados muestran una reducción del 55,55% de este contaminante.

Fioravanti (2003), los Nitratos disminuyeron su concentración de 1mg/ a 0,45 mg/l, porque se llevó a cabo procesos de desnitrificación debido al consumo del mismo por parte de los microorganismos en su respiración a lo que se llama reducción desasimilatoria.

Fioravanti, (2005), el tratamiento con microorganismos eficientes tuvo éxito en la reducción de nitratos, que son considerados uno de los contaminantes de agua subterránea y superficial.

La investigación muestra que, la DBO<sub>5</sub> tuvo una alta remoción para el tratamiento 01 con E.M inicia con 2 200 mg/L y finaliza con 55 mg/L estos resultados muestran una reducción del 97,50% de la concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 2 351 mg/L y finaliza con 457 mg/L, estos resultados muestran una reducción del 55,55% de este contaminante.

Cardona, J y García, L (2008). Con respecto al comportamiento de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), esta se encontró, en general, relacionada con la adición de EM, y logró disminuir la BDO, hasta alcanzar valores de 49,8 mg/L.

Se encontraron diferencias entre los tratamientos al aplicar los ME, comparado con el control. Hubo un efecto de reducción de la DBO de un 96% de los a los dos meses después de su aplicación (Toc M, 2012).

B, Reyes (2005), en el transcurso del tiempo la cantidad de BDO<sub>5</sub>, para los tratamientos con microorganismos eficientes, indico una reducción en la materia orgánica; la reducción fue significativa, para descargar esas aguas en el ambiente ya que alcanzó un porcentaje de remoción del 90%.

La investigación muestra que, la DQO tuvo una alta remoción para el tratamiento 01 con E.M inicia con 2 748 mg/L y finaliza con 100 mg/L estos resultados muestran una

reducción del 96,36% de la concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 2 833 mg/L y finaliza con 521 mg/L, estos resultados muestran una reducción del 81,61% de este contaminante.

De igual modo, (B, Reyes, 2005), la reducción de DQO en los tratamientos con microorganismos eficientes fue significativa, pero no alcanzó los parámetros permisibles para ser descargado al ambiente.

La DQO no se vio afectada por la adición de los EM, pues se observó una disminución de este parámetro para todos los tratamientos (Cardona y García, 2008).

Se encontraron diferencias en la DQO al emplear los ME, comparado con el control. Se tuvo un efecto de reducción de 97% a los dos meses posteriormente de su aplicación (Toc M, 2012).

La investigación muestra que los coliformes termotolerantes tuvo una alta remoción para el tratamiento 01 con E.M inicia con 8 540 UFC/100ml y finaliza con 270 UFC/100ml estos resultados muestran una reducción del 96,84% de la concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 8 620 UFC/100ml y finaliza con 845 UFC/100ml, estos resultados muestran una reducción del 90,20% de este contaminante.

Para el caso de coliformes totales, La investigación tuvo una alta remoción para el tratamiento 01 con E.M inicia con 12 231 UFC/100ml y finaliza con 632 UFC/100ml estos resultados muestran una reducción del 94,83% de la concentración de éste contaminante. En comparación con el tratamiento 02, al cual se aplicó ceniza, inicia con 12 318 UFC/100ml y finaliza con 1 018 UFC/100ml, estos resultados muestran una reducción del 91,74% de este contaminante.

Salazar (2004), si la temperatura se incrementa, los patógenos morirán más rápido. En efecto, 99% de coliformes fecales (bacterias usuales en heces) morirán, aproximadamente en dos semanas, en el verano (época de calor) y en tres semanas durante el invierno (época de frío).

Fioravanti (2003), reporta que la investigación realizada eliminó el 99% de los Coliformes Fecales y Totales, esto fue por la condiciones del estudio, así como de la composición del agua residual.

## CONCLUSIONES.

- ✓ Se caracterizó los parámetros de lodos fecales en letrina tradicional simple, los cuales presentaron variaciones en función al tratamiento. Con aplicación de microorganismos eficientes fueron: T° 24,1 °C; pH 5,3; de DBO<sub>5</sub> 2 200 mg/L; DQO 2 748 mg/L; fosfatos 14 mg/L; nitratos 25 mg/L; coliformes termotolerantes 8 540 UFC/100ml y coliformes totales 12 231 UFC/100ml. Y respecto al tratamiento con aplicación de ceniza fueron: de T° 24,5 °C; pH 5,3; DBO<sub>5</sub> 2 351 mg/L; DQO 2 833 mg/L; fosfatos 15 mg/L; nitratos 27 mg/L; coliformes termotolerantes 8 620 UFC/100ml y coliformes totales 12 318 UFC/100ml.
  
- ✓ Se comparó los parámetros del tratamiento de lodos fecales, de los más resaltantes se tiene, la T° a los 45 días los E.M se incrementó a 27,8 °C y con ceniza solo alcanzo 26 °C. El pH a los 45 días los E.M se incrementó a 8,9 y con ceniza 7,8. El nitrato a los 45 días se removió a 2 mg/L y con ceniza a 12 mg/L. El fosfato a los 45 días se removió a 3 mg/L y con ceniza 5 mg/L. La DBO<sub>5</sub> a los 45 días se removió a 55 mg/L y con ceniza a 457 mg/L. La DQO a los 45 días se removió a 100 mg/L y con ceniza a 521 mg/L. Coliformes termotolerantes a los 45 días se removió a 270 UFC/100mL y con ceniza a 845 UFC/100mL. Coliformes totales a los 45 días se removió a 632 UFC/100mL y con ceniza a 1 018 UFC/100mL.
  
- ✓ La remoción de los parámetros mediante la eficiencia tubo como resultados: el fosfato con E.M se removió 78,57% en comparación con la ceniza que removió 66,67%; el nitrato con E.M se removió 92% en comparación con la ceniza que removió 55,56%; la DBO con E.M se removió 97,5% en comparación con la ceniza que removió 80,56%; la DQO con E.M se removió 96,36% en comparación con la ceniza que removió 81,61%; los coliformes termotolerantes con E.M se removió 96,84% en comparación con la ceniza que removió 90,2% y los coliformes totales con E.M se removió 94,83% en comparación con la ceniza que removió 91,74%. Mediante el tratamiento de lodos fecales en letrina tradicional simple con aplicación de microorganismos eficientes los parámetros evaluados fueron ampliamente removidos, en comparación con el tratamiento convencional (ceniza)

## **RECOMENDACIONES.**

- ✓ Para las próximas investigaciones, evaluar el color y olor llevando un control de los mismos para determinar la aceptación de cada tratamiento propuesto. De la misma manera para la presencia/ausencia de moscas (parámetro subjetivo) en lodos fecales procedente de letrina tradicional simple.
- ✓ Para futuras investigaciones realizar una evaluación económica en función a costo/beneficio para cada tratamiento.
- ✓ Para las próximas investigaciones, tratar los lodos fecales procedentes de letrinas composteras, o que en la actualidad se las denomina UBS (unidad básica de saneamiento).
- ✓ Realizar un análisis del tratamiento por separado, tanto para heces como orina. Para evitar la pérdida de nutrientes, mejorar y acelerar la descomposición; y usarlo como compost (al resultado del tratamiento de heces) y biol (al resultado del tratamiento de la orina).
- ✓ Realizar un estudio para deshidratar los L.F y elaborar compost obtenido de los tratamientos E.M y ceniza, para un fin agrícola.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, C., A. Ferreira, C. Cherubini, C. Rodrigues, Ch. Cameiro e F. Fernandes, 2001. Capítulo 4, *Higienização do lodo de esgoto*. p 87-116. En: Andreoli, C. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento e disposição final*. ABES y PROSAB, Río de Janeiro, Brasil.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling A.B., Stenström, T.A., Schønning, C., Westrell T., Carlsen, A. y Halling-Sørensen, B. 2003. 'Risk assessment of local handling of human faeces with International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1 focus on pathogens and pharmaceuticals'. In: Ecosan – *Closing the loop*. Proceedings of the 2 st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7 th -11 th April 2003, Lübeck, Germany. p: 365.
- Bassan, M., Mbéguéré, M., Koné, D., Holliger, C., Strande, L. (2014). "Success and failure assessment methodology for wastewater and faecal sludge treatment projects in low-income countries". Journal of Environmental Planning and Management.
- Beneson, A.S. (edit.) (1995): *Control of communicable diseases manual*, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Berg, J. 2000. *Storing and handling of biogas residues from big-scale biogas plants* (In Swedish). JTI report Kretslopp y Avfall 22, Swedish Institute for Agricultural and Environmental Research. Sweden.
- Boost M. and Poon C. 1998. The effect of a modified method f lime-stabilization sewage treatment on enteric pathogens. Environ. Intl. 24(7): 783-788.
- Cardona, J y García, L. (2008). *Evaluación del efecto de los microorganismos eficientes (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica*. Tesis de Pregrado para optar el título de Microbiólogo industrial. Facultad de Ciencias – Pontificia Universidad Javierana, Bogotá.



- Carr, F. J., Chill, D. y Maida, N. (2002). The lactic acid bacteria: A literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*. 28(4):281-370.
- Conhydra, Diagnostico socioeconómico del Centro Poblado Perla de Indaíne, 2014.
- DUNCAN MARA**, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, *Diseño de letrinas mejoradas de pozo ventilado*, Washington, D.C. 1 984.
- EPAM LTDA.**, Técnicas sencillas de saneamiento ambiental aplicables en el medio urbano, *Santafé de Bogotá. D.C. 1991*.
- Esrey, S., *et al.*, *Saneamiento Ecológico*, tr. de la 1a. edición en inglés *Ecological Sanitation*, Asdi, Estocolmo 1998.
- FAO 1999 Manejo de Estiércol. En línea:  
<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Tech/20ManMgn.htm> Revisado el 5 de Diciembre del 2013
- Fayer, R. (1985): “Effect of high temperature on ineffectively of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water”, *Applied Environmental Microbiology*, 60(8), pp. 2732-2735. Véase también Anderson, B.C. (1985): “Moist heat inactivation of *Cryptosporidium* sp.”, *American Journal of Public Health*, 75(12), pp. 1433-1434.
- Fioravanti N, Vega C, Okumoto, J. (2005). *Eficiencia de los microorganismos eficientes (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola*. Revista de la Universidad EARTH. Tierra Tropical. Junio 2005 1(1): 69-76.
- Fioravanti N, Vega y otros (2003). *“Eficiencia de los microorganismos eficientes (em) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola”*. Tesis de Pregrado para optar el título de Ingeniero Agrónomo – Costa Rica.
- García, J. (2006). *Comparación de la fertilización orgánica y convencional a partir del uso de microorganismos eficientes y químicos tradicionales sobre la*

*producción de biomasa durante un ciclo de cosecha en un cultivo de rábano gordo (Rhapanus sativus L.). Revista Latinoamericana de Microbiología. 42:73-82*

Gray, N. *Calidad del agua potable. Problemas y soluciones*. 1era Edición. España: Editorial Acribia; 1996.

Hernández R. Fernández C. Baptista P, *Metodología de la Investigación*. 5ta ed. Mexico: Editorial McGraw-Hill Interamericana. 2010.

Hernández R. Fernández C. Baptista P, *Metodología de la Investigación*. 4ta ed. Mexico: Editorial McGraw-Hill Interamericana. 2006.

Higa, T. *Una revolución para salvar la tierra*. Traducido por Del Mar Rivera. EMRO, España. 1993.

Huayllani, k. (2017). “*influencia de microorganismos eficientes (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016*” (tesis de pre-grado). Universidad continental, facultad de ingeniería, escuela académica profesional de ingeniería ambiental. Huancayo Perú.

Instituto nacional de estadística e informática (INEI). *Encuesta demográfica y de salud familiar (ENDES) 2013*.

Jaramillo A y Arias A. *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 2001.

Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Richert, A. y Rodhe, L. 2001. *Urine separation – closing the nutrient cycle*. Stockholm Water Company. Stockholm, Sweden. Available at: [http://www.stockholmvatten.se/pdf\\_arkiv/english/Urinsep\\_eng.pdf](http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/english/Urinsep_eng.pdf).

- Jönsson, H. (1997): "Assesement of sanitation systems and reuse of urine", *Ecological alternatives in sanitation*, Publications on Water Resources, 9, Asdi, Estocolmo.
- Jönsson, H. y Vinnerås, B. 2004. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2 nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1 st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7 April 2003, Lübeck, Germany. pp 623-626.
- Jönsson, H., A. Olsson, T.A. Stentörm y G. Dalhammar (1996): "Källsorterad humanurin i kretslopp - en förstudie i tre delar" (Fuente de reciclado con orina humana separada: estudio piloto en tres partes), *VA-Forsk Report*, 96-03, Estocolmo (en Sueco, con un resumen al inglés).
- Jönsson, H., Eklind, Y., Albiñ, A., Jarvis, Å., Kylin, H., Nilsson, M.-L., Nordberg, Å., Pell, M., Schnürer, A., Schöning, C., Sundh, I. y Sundqvist, J.-O. 2003. *Samhällets organiska avfall – en resurs i kretsloppet* (The organic waste in society – a resource in the circulation; in Swedish). Fakta Jordbruk – No 1-2, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden
- Jönsson, H., Stenström, T.A., Svensson, J. y Sundin, A. 1997. 'Source separated urine Nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination'. *Water Science and Technology* **35**(9):145-152.
- Jönsson, Richert, Vinnerås y Salomón, (2004). *Lineamientos para el uso de la orina y heces en la producción de cultivos*. Instituto Ambiental de Estocolmo.
- Marín, A y Aguilar, H. (2005). *Evaluación de la efectividad del sistema de tratamiento de lodos sépticos de la EARTH*. Tesis de Pregrado para optar el título de Ingeniero Agrónomo – Universidad EARTH, Costa Rica.
- Markell, E.K., M. Voge y D.T.T. John (1986): *Medical parasitology*, WB Saunders Company, Philadelphia.

Metcalf y Eddy. *Ingeniería de las aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. 3ra ed. España: McGRAW-HILL; 2003.

“Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales – American Public Heal Association, American Waer Works, Association Water Pollution Control Federation 20th Edition, 1998”.

Metodología de la Investigación. (2003). Consultado el 05 de junio de 2015.  
 Disponible en  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lad/arenas\\_m\\_a/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/arenas_m_a/capitulo3.pdf)

Moe, C. y Izurieta, R. 2004. Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2 nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7 th -11 th April 2003, Lübeck, Germany. Pp 295-302.

Muñoz, A., F. Chejne, J. Espinel y C. Londoño. 2006. Evaluación de la celulosa de papel y de las cenizas de carbón como materiales aislantes alternativos. *Dyna* 73(148):1-8.

Olsson, A. (1995): *Källsorterad humanurin - förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning (Orina humana separada: ocurrencia y sobrevivencia de microorganismos fecales y composición química)*, Reporte 208, Departamento de Investigaciones en Ingeniería Agrícola, Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Uppsala, Suecia.

Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. (2005). Especificaciones técnicas para la construcción de letrinas de procesos secos. Lima Perú.

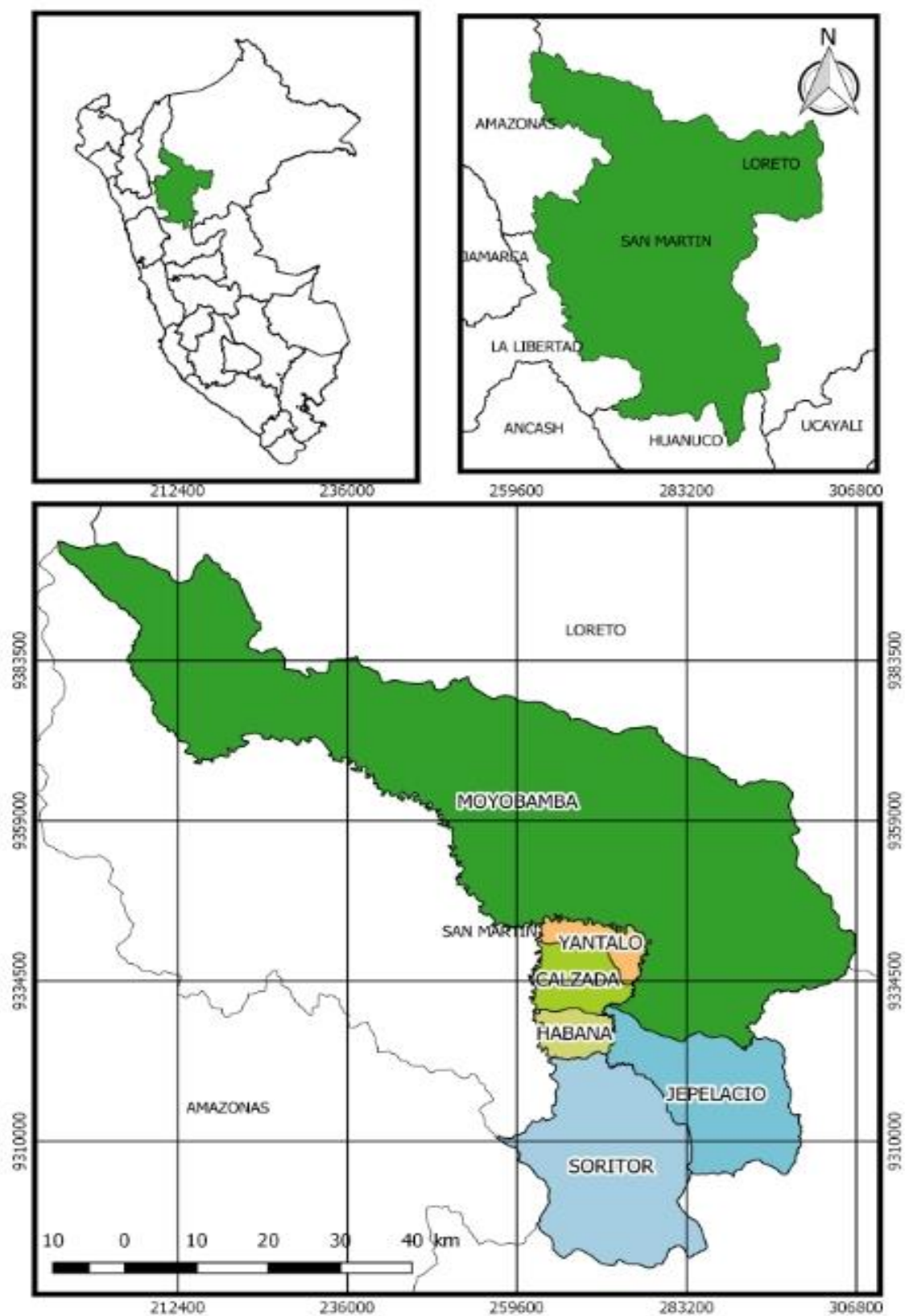
Orozco A, y Salazar A. (1989). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín. Colombia.

- Quevedo U. Héctor y Pérez S. Blanca. *Estadística, para Ingeniería y Ciencia*. 1ra ed. México: Grupo Editorial Patria; 2008.
- Reyes B, Yeomans J, C. Hernández, S. Okumoto (2005). *Estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con microorganismos eficientes*. Tesis de Pregrado para optar el título de Ingeniero Agrónomo – Universidad EARTH, Costa Rica.
- Roldan, F., Guevara, C., Puerto, R. (2007). *Evaluación del efecto de los microorganismos eficientes EM® - EMRO en el tratamiento de agua residual doméstica*. Unidad de saneamiento y biotecnología ambiental (USBA). Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Romero J. *Tratamiento de Aguas Residuales: Teorías y Principios de Diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 2005.
- Salazar (2004). *Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales*. Programa ambiental regional para centro américa.
- Sonesson, U. 1996. *The ORWARE Simulation Model – Compost and Transport Submodels*. (Licentiate thesis) Report 215, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Toc, M. (2012), *Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en las Aguas Residuales de la Granja Porcina de Zamorano, Honduras*. Tesis de Pregrado para optar el título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencia y Producción Agrícola – Escuela agrícola Panamericana, Zamorano.
- Udert, K.M., Larsen, T. y Gujer, W. 2003. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* **37**: 2667-2677.

- Vázquez, S.M., Suárez, H. y Zapata, S. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de Nutrición*. 36(1):64-71.
- Vinneras, B., A. Björklund, C. Andreoli, A. Ferreira, C. Cherubini, C. Rodrigues, Ch. Cameiro e F. Fernandes, 2001. Capítulo 4, Higienização do lodo de esgoto. p 87-116. En: Resíduos sólidos do saneamento: processamento e disposição final. ABES y PROSAB. Río de Janeiro, Brasil.
- Vivanco, A. (2003), *Elaboración de EM bokashi y su evaluación en el cultivar maíz, bajo riego en Zapotillo*. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuario y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Agronómica. Loja. Ecuador.

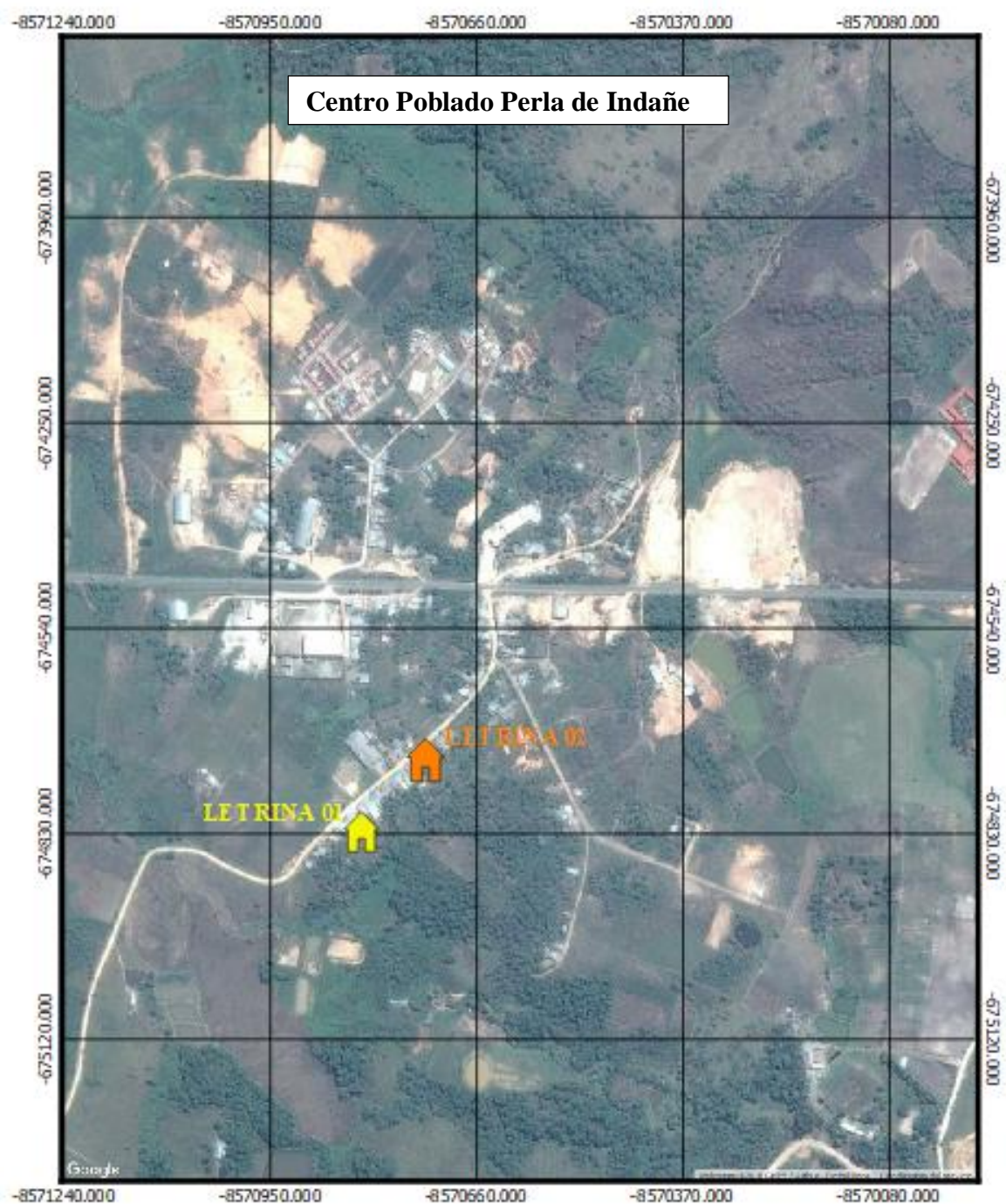
## ANEXOS



**Anexo 01:** plano de macro localización de del proyecto.



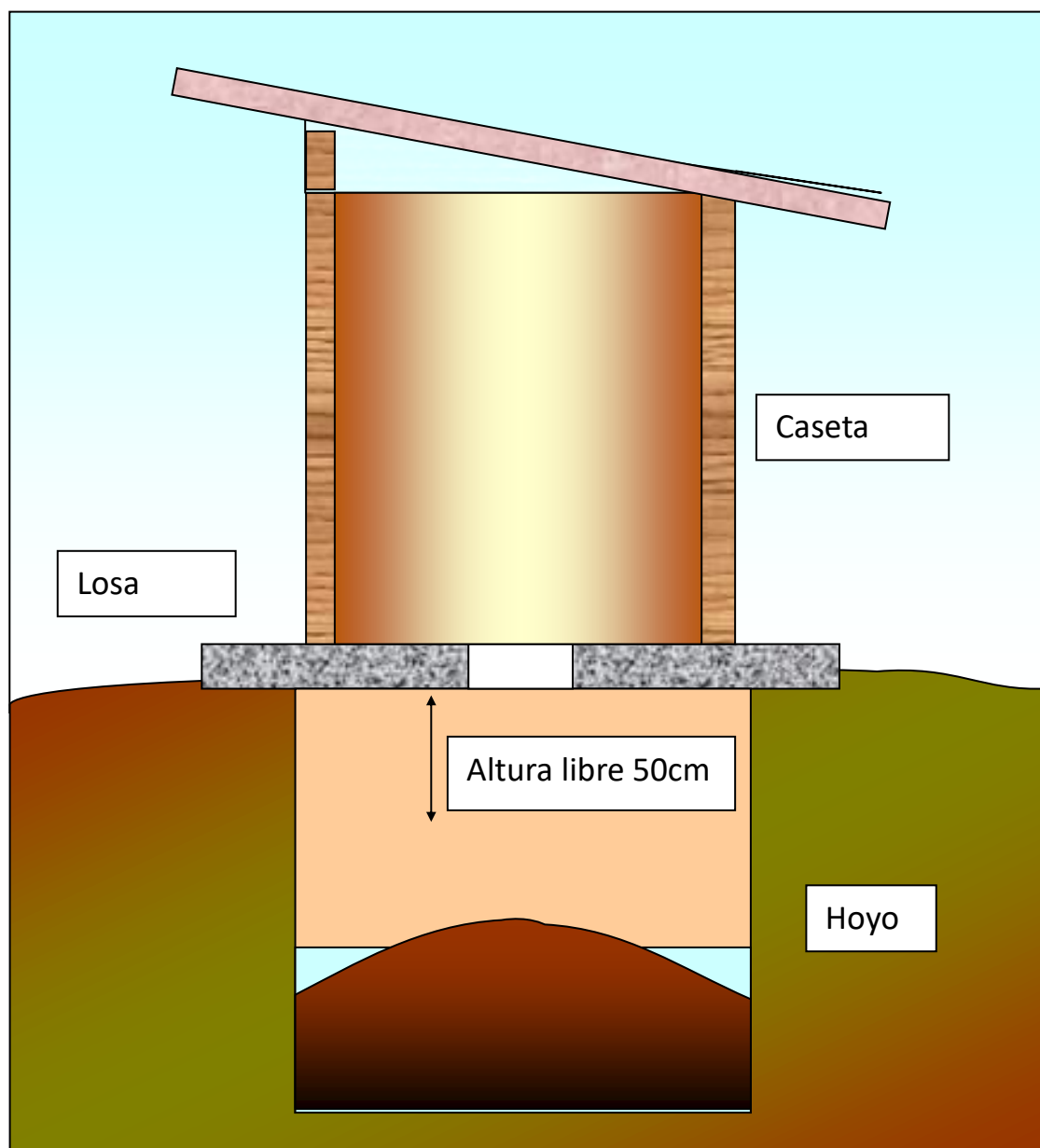


**Anexo 02:** plano de micro localización de del proyecto.



Leyenda:	Letrina 01	Letrina 02
	Aplicación de E.M	Aplicación de Ceniza
	 E 279402.04 S 9330794.92	 E 279487.27 S 9330867.92



**Anexo 03:** Diseño de letrina tradicional simple.

## Anexo 04: Resultados de laboratorio

**INFORME N° 189A-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH**

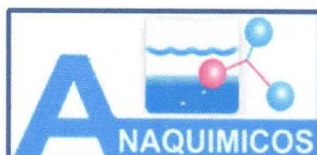
<b>SOLICITANTE</b>	<b>: ROY TANTALEAN PEDRAZA</b>
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	<b>: Tratamiento de Lodos Fecales en Letrina Tradicional simple con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza) y en el Centro Poblado Perla de Indaño, 2017.</b>
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>: LODOS DE LETRINAS</b>
<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>: Letrinas 01 y 02</b>
<b>SECTOR</b>	<b>: Perla de Indaño del Distrito y Provincia de Moyobamba del Departamento de San Martín.</b>
<b>FECHA DE TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 27-09-2017</b>
<b>HORA TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 4:00 P.M</b>
<b>MUESTREADO POR</b>	<b>: Cliente</b>
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	<b>: 04-10-2017</b>

**RESULTADOS DE ENSAYOS**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		LETRINA 01 SIN TRATAMIENTO	LETRINA 02 SIN TRATAMIENTO
Nitratos	mg/L	25.0	27.0
Fosfatos	mg/L	14.0	15.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2200.0	2351.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2748.0	2833.0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	8540.0	8620.0
Coliformes Totales	UFC/100ml	12231.0	12318.0

ANAQUIMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

*Ing. Samuel López Chávez*  
 CIP: N° 140874  
 TITULAR GERENTE



**ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL**  
RUC: 20572240372


**INFORME N° 190A-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH**

<b>SOLICITANTE</b>	<b>: ROY TANTALEAN PEDRAZA</b>
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	<b>: Tratamiento de Lodos Fecales en Letrina Tradicional simple con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza) y en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2017.</b>
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>: LODOS DE LETRINAS</b>
<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>: Letrinas 01 y 02</b>
<b>SECTOR</b>	<b>: Perla de Indañe del Distrito y Provincia de Moyobamba del Departamento de San Martín.</b>
<b>FECHA DE TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 11-10-2017</b>
<b>HORA TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 6:00 P.M</b>
<b>MUESTREADO POR</b>	<b>: Cliente</b>
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	<b>: 17-10-2017</b>

**RESULTADOS DE ENSAYOS**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		LETRINA 01 Con Microorganismos Eficientes	LETRINA 02 Con Ceniza
Nitratos	mg/L	22.0	17.0
Fosfatos	mg/L	12.0	9.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1972.0	1532.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2122.0	1779.0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	8120.0	6911.0
Coliformes Totales	UFC/100ml	11988.0	9257.0

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

  
Ing. Samuel López Chávez  
CIP: N° 140674  
TITULAR GERENTE



**ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL**  
RUC: 20572240372

**INFORME N° 191A-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH**

<b>SOLICITANTE</b>	<b>: ROY TANTALEAN PEDRAZA</b>
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	<b>: Tratamiento de Lodos Fecales en Letrina Tradicional simple con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza) y en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2017.</b>
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>: LODOS DE LETRINAS</b>
<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>: Letrinas 01 y 02</b>
<b>SECTOR</b>	<b>: Perla de Indañe del Distrito y Provincia de Moyobamba del Departamento de San Martín.</b>
<b>FECHA DE TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 25-10-2017</b>
<b>HORA TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 5:30 P.M</b>
<b>MUESTREO POR</b>	<b>: Cliente</b>
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	<b>: 31-10-2017</b>

**RESULTADOS DE ENSAYOS**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		LETRINA 01 Con Microorganismos Eficientes	LETRINA 02 Con Ceniza
Nitratos	mg/L	6.0	14.0
Fosfatos	mg/L	4.0	7.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	210.0	652.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	321.0	748.0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	756.0	1250.0
Coliformes Totales	UFC/100ml	1140.0	1542.0

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

*Ing. Samuel López Chávez*

Ing. Samuel López Chávez  
CIP: N° 140874  
TITULAR GERENTE





**ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL**  
RUC: 20572240372

**INFORME N° 192A-2017/ANAQUIMICOS/CC/SLCH**

<b>SOLICITANTE</b>	<b>: ROY TANTALEAN PEDRAZA</b>
<b>PROYECTO DE TESIS</b>	<b>: Tratamiento de Lodos Fecales en Letrina Tradicional simple con microorganismos eficientes comparados con el tratamiento convencional (ceniza) y en el Centro Poblado Perla de Indañe, 2017.</b>
<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>: LODOS DE LETRINAS</b>
<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>: Letrinas 01 y 02</b>
<b>SECTOR</b>	<b>: Perla de Indañe del Distrito y Provincia de Moyobamba del Departamento de San Martín.</b>
<b>FECHA DE TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 08-11-2017</b>
<b>HORA TOMA DE MUESTRA</b>	<b>: 4:30 P.M</b>
<b>MUESTREADO POR</b>	<b>: Cliente</b>
<b>FECHA DE EMISIÓN</b>	<b>: 14-11-2017</b>

**RESULTADOS DE ENSAYOS**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	
		LETRINA 01 Con Microorganismos Eficientes	LETRINA 02 Con Ceniza
Nitratos	mg/L	2.0	12.0
Fosfatos	mg/L	3.0	5.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	55.0	457.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	100.0	521.0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	270.0	845.0
Coliformes Totales	UFC/100ml	632.0	1018.0

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

*Ing. Samuel López Chávez*  
CIP: N° 140874  
TITULAR GERENTE

**Anexo 05:** panel fotográfico.

	<p><b>Fotografía N° 1</b></p> <p>Acondicionamiento del área, para la construcción de las letrinas.</p>
	<p><b>Fotografía N° 2</b></p> <p>Acondicionamiento de la letrina tradicional simple (letrina 01)</p>





**Fotografía N° 3**  
Acondicionamiento  
de la letrina  
tradicional simple  
(letrina 02)



**Fotografía N° 4**  
Toma de muestras  
de letrina 01 (con  
aplicación de  
microorganismos)



**Fotografía N° 5**  
Toma de muestras  
de letrina 02 (con  
aplicación de  
ceniza)



M<sub>1</sub> a los  
30 días



M<sub>2</sub> a los  
30 días

**Fotografía N° 6**  
Comparación de  
las muestras a los  
30 días de  
aplicación de  
tratamientos





**Fotografía N° 7**  
Muestra del  
tratamiento 1 (con  
aplicación de  
microorganismos)a  
los 45 días.